

УДК 004.021; 51-76

DOI: 10.25559/SITITO.15.201901.92-98

Оценка качества сетевых графиков в управлении проектами

В. Г. Абрамов*, И. В. Горячая, Д. А. Пучкин

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

* vlabr@cs.msu.ru

Аннотация

В работе рассматривается сетевая модель проекта – сетевой график, являющийся ориентированным графом без контуров с ограничениями, которые вытекают из определения проекта. Одной из проблем сетевого планирования в управлении проектами является сравнительный анализ сетевых графиков, соответствующих одному проекту. Для решения этой проблемы необходимо иметь инструмент оценки качества каждого построенного для проекта сетевого графика. В работе предложен метод оценки качества сетевого графика проекта с помощью математического функционала, вычисляющего числовую характеристику, соответствующую конкретному графу. Данный функционал был получен на основе прямого анализа сетевых графиков с существенным использованием эвристик сетевого планирования в управлении проектами. Анализ графов проводился путем представления их в виде ярусно-параллельной формы и использования их ярусных срезов. Исследование показало, что увеличение числа операций сетевого графика приводит к резкому увеличению сложности прямого анализа, обусловленному комбинаторным взрывом числа единиц анализа. Поэтому построенный функционал был получен на основе анализа графов, отвечающих сетевым графикам с числом операций, не превышающим 6. Для оценки сетевых графиков с произвольным числом операций предлагается алгоритм, основанный на декомпозиции сетевого графика в подграфы с не более чем 6 вершинами. Использование алгоритма в совокупности с предложенным функционалом позволяет получать числовую оценку качества сетевого графика с произвольным количеством вершин.

Ключевые слова: ориентированный граф без контуров, управление проектами, сетевой график, планирование, анализ сетевого графика, критический путь, анализ критического пути, эвристический алгоритм.

Для цитирования: Абрамов В. Г., Горячая И. В., Пучкин Д. А. Оценка качества сетевых графиков в управлении проектами // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 1. С. 92-98. DOI: 10.25559/SITITO.15.201901.92-98

© Абрамов В.Г., Горячая И.В., Пучкин Д.А., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Network Quality Rating in Project Management

V. G. Abramov*, I. V. Goryachaya, D. A. Puchkin

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*vlabr@cs.msu.ru

Abstract

The article regards network project which can be represented by directed acyclic graph with restrictions ensuing from project definition. The problem of planning in project management is the comparative analysis of networks of the single project. It needs to have a project network quality rating tool to solve this problem. Article proposes the network ranking method by mathematical functional calculating numerical characteristic of a concrete graph. This functional has received by direct analysis significantly using planning heuristics in project management. Graph analysis has carried out by its representing as multi-parallel form of graph and using its cuts. Investigation has showed that operation increasing leads to a sharp increasing in complexity because of combinatorial explosion of analysis units' number. Therefore, obtained functional has received by graph analysis of networks having no more than 6 operations. To rate networks having more than 6 operations it offers algorithm based on decomposition network to graphs having no more 6 operations. Using the algorithm and obtained functional allows you to get numerical characteristic rating quality of network having an arbitrary number of vertices.

Keywords: directed acyclic graph, dag, project network, project management, project planning, network analysis, critical chain, critical chain project management, heuristic algorithm.

For citation: Abramov V.G., Goryachaya I.V., Puchkin D.A. Network Quality Rating in Project Management. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(1):92-98. DOI: 10.25559/SITITO.15.201901.92-98



Основные определения

В теории управления проектами одним из основных инструментов для планирования и отслеживания проекта является сетевой график. В работе рассматривается проблема оценки качества различных сетевых графиков, отражающих проект. На основе этой оценки возможно проводить сравнительный анализ сетевых графиков.

Сетевой график представляет собой ориентированный граф с ограничениями, которые вытекают из определения проекта [2]. Будем использовать определение графа в соответствии с работой [14].

Для уточнения свойств ориентированного графа, представляющего сетевой график, введем следующее определение:

Определение 1. Если в графе существует ребро (v_i, v_j) и при этом существует иной путь из v_i в v_j , то ребро (v_i, v_j) будем называть фиктивной связью.

Рассмотрим пример фиктивной связи. На Рисунке 1 из вершины 1 в вершину 3 существует ребро $(1, 3)$ и путь $\{(1, 2), (2, 3)\}$. Операция 3 не может начаться прежде, чем закончатся операции 1 и 2. В свою очередь, операция 2 не может начаться прежде, чем закончится операция 1. При удалении ребра $(1, 3)$ операция 3 будет ожидать конца только операции 2. Однако операция 2 в любом случае не может закончиться прежде, чем закончится операция 1. Таким образом, если в графе сетевого графика существует фиктивная связь, то ее можно убрать из него, не нарушая структуру связей между операциями проекта. В дальнейшем будем считать отсутствие фиктивных связей требованием для графов сетевых графиков.

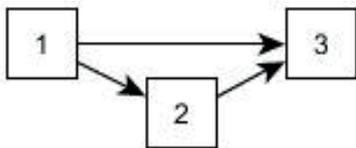


Рис. 1. Фиктивная связь $(1, 3)$

Fig. 1. Dummy connection $(1, 3)$

Введем понятие сетевого графика в терминах теории графов:

Определение 2. Сетевой график – ориентированный граф без контуров и фиктивных связей, в котором есть ровно одна начальная и одна конечная вершины и в котором вершины или ребра имеют вес.

Удобным для анализа представлением сетевых графиков является ярусно-параллельная форма графа:

Определение 3. Ярусно-параллельной формой (ЯПФ) графа называется деление вершин заданного графа на перенумерованные множества, называемые ярусами, такие, что если существует дуга из вершины v_i множества с номером j в вершину v_k множества с номером k , то обязательно $j < k$. [15]

Введем понятие ярусного среза:

Определение 4. Ярусным срезом графа между соседними ярусами i и j будем называть множество таких ребер данного графа, начальная вершина которого принадлежит ярусу с номером $k \leq i$, а конечная вершина принадлежит ярусу с номером $k \geq j$.

Определение 5. Мощностью ярусного среза графа будем называть количество ребер этого среза.

Функционал оценки качества сетевого графика

Ключевой характеристикой сетевого графика является понятие критического пути [3]. В соответствии с рекомендациями по составлению сетевого графика [2] в проекте следует увеличивать число параллельных операций и, по возможности, сдвигать параллельные операции к концу проекта.

В данной работе предлагается метод оценки качества сетевого графика проекта с точки зрения числа его параллельных операций. Метод основан на декомпозиции сетевого графика и оценки его структурных элементов с помощью построенного в работе [1] математического функционала. Этот функционал был получен на основе прямого анализа сетевых графиков с существенным использованием эвристик сетевого планирования в управлении проектами.

Прямой анализ сетевых графиков с более чем 6 операциями оказался не эффективен в силу того, что количество таких графов N имеет зависимость от количества его вершин m равную $N(m) = O(2^{m^2})$.

Для графов с числом вершин, не превышающим 6, данный функционал имеет следующий вид:

$$F(G) = \begin{cases} F(g), & \text{если } |g| = |G| \\ & \text{и } g \subseteq G, \\ n \cdot p \cdot \frac{\sum_{i=1}^{lc} lc_i \cdot i}{e^{lc}} \cdot \frac{1}{\ln(1 + \sum_{v_i \in V} w(v_i) \cdot d(v_i) \cdot l(v_i))}, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где G – граф сетевого графика, n – число ребер графа G , p – число путей графа G от начальной вершины до конечной, lc – число ярусных срезов графа G , lc_i – мощность ярусного среза с номером i графа G , V – множество вершин графа G , $w(v_i)$ – вес вершины v_i , $d(v_i)$ – степень вершины v_i , $l(v_i)$ – номер яруса вершины v_i .

Для оценки сетевых графиков с произвольным числом операций предлагается предварительно их декомпозировать.

В результате применения алгоритма декомпозиции, сетевой график распадается на подграфы, поддающиеся корректной оценке с помощью представленного выше функционала.

Алгоритм состоит из 3 основных шагов:

Декомпозиция графа на подграфы, которые могут быть оценены с помощью функционала $F(G)$.

Оценка полученных подграфов.

Замена подграфов на вершины с весом, полученным из их оценок.

Алгоритм декомпозиции сетевого графика

Перед работой алгоритма декомпозиции необходимо проверить входной граф на соответствие определению сетевого графика. Должны соблюдаться следующие ограничения:

- связность;
- единственность начальной и конечной вершин;
- отсутствие контуров;
- отсутствие фиктивных связей.

Алгоритм декомпозиции принимает на вход произвольный конечный граф, удовлетворяющий данным ограничениям.

Будем считать, что граф представляет собой совокупность



множества вершин M (с уже известными начальной вершиной v_s и конечной вершиной v_f) и набора ориентированных ребер N .

Первым шагом данного алгоритма должна являться проверка графа на число вершин. Действительно, если вершин графа не более 6, то достаточно вычислить значение функционала $F(G)$ на данном графе и завершить работу алгоритма. Исходя из вида функционала, перед вычислением значения необходимо получить число ребер графа, число его путей из начальной вершины в конечную, а также его ярусно-параллельную форму и ярусные срезы.

Число ребер графа есть мощность множества его ребер $|N|$. Число путей графа, его ЯПФ и ярусные срезы можно получить с помощью прохода по нему в ширину.

Алгоритм вычисления числа путей графа, ЯПФ графа, ярусных срезов графа.

Шаг 1. Сопоставить каждой вершине m из множества M число $p(m)$. Первоначально $p(m)$ инициализируется нулевым значением.

Шаг 2. Поместить вершину v_s в список нераскрытых вершин $Open$ и сопоставить этой вершине число $p(v_s)=1$.

Шаг 3. Поместить вершину v_s в первый список нумерованного списка ярусов графа LPF . Принять счетчик шагов алгоритма i за 1.

Шаг 4. Если список $Open$ пуст, то перейти к **шагу 9**, в противном случае увеличить i на единицу и перейти к следующему шагу.

Шаг 5. Убрать первую вершину $Current$ из списка $Open$ и перенести ее в список раскрытых вершин $Closed$.

Шаг 6. Изменить число $p(m)$ для каждой вершины, связанной ориентированным образом с вершиной $Current$, следующим образом: $p(m)=p(m)+p(Current)$.

Шаг 7. Каждую вершину, связанную ориентированным образом с вершиной $Current$, поместить в список списка LPF с номером i . При этом, если помещаемая вершина уже есть в списке списка LPF с номером, меньшим чем i , то удалить эту вершину из списка с меньшим номером.

Шаг 8. Раскрыть вершину $Current$, поместив все связанные с ней ориентированным образом и не находящиеся в списках $Open$ и $Closed$ вершины в конец списка $Open$. При этом, каждое ребро вида $(Current, x)$ поместить в список списка LC с номером $i-1$. Перейти к **шагу 4**.

Шаг 9. Вернуть число $p(v_f)$ как число путей из начальной вершины графа v_s в конечную v_f . Вернуть список LPF как нумерованный список ярусов графа (то есть как ЯПФ графа). Вернуть список LC как нумерованный список ярусных срезов графа.

Конец алгоритма.

Утверждение 1. Вершина v является расщепляющей в графе G , если:

- $L(v)=\{v\}$, где $L(v)$ – ярус, содержащий вершину v .
- Соседние с $L(v)$ ярусные срезы не имеют общих ребер.

Доказательство. Пусть номер $L(v)$ есть i . Удалим вершину v из графа G , а значит и ребра, содержащие вершину v . Назовем G_1 и G_2 множества вершин, находящихся в ярусах с номерами меньшими и большими соответственно, чем номер i . Граф G останется связным, если найдется ребро, соединяющее любые две вершины из G_1 и G_2 . Однако в ярусе $L(v)$ больше нет вершин, соседние с $L(v)$ ярусные срезы больше не содержат ребер, а значит не существует ребер, соединяющих вершины из G_1 и G_2 . При удалении такой вершины из графа он перестает быть

связным. *Утверждение доказано.*

Таким образом, при декомпозиции графа возможны следующие варианты:

- в графе существуют расщепляющие вершины;
- при удалении из графа вершин v_s и v_f вместе с инцидентными им ребрами граф перестает быть связным;
- граф не удовлетворяет ни первому, ни второму условию.

Приведем описание алгоритма декомпозиции для каждого случая.

Рассмотрим первый случай. Расщепляющие вершины графа можно получить с помощью доказанного выше утверждения, используя полученные ЯПФ графа и его ярусные срезы.

Будем разбивать граф на два подграфа, включая расщепляющую вершину в оба подграфа, но с половинным весом. На Рисунке 2 изображен пример такой декомпозиции. Числа на вершинах обозначают их вес.

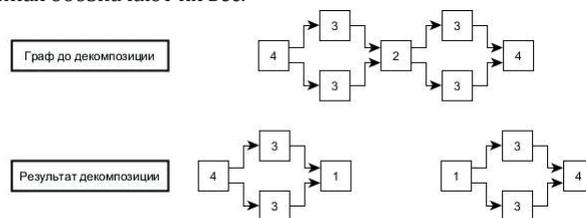


Рис. 2. Декомпозиция графа на последовательные подграфы
Fig. 2. Decomposition of a graph into successive subgraphs

Рассмотрим второй случай. В данном варианте граф является декомпозируемым по начальной и конечной вершинам v_s и v_f . Разбивать граф на 2 подграфа будем включая v_s и v_f в оба подграфа с половинным весом. На Рисунке 3 изображен пример такой декомпозиции.

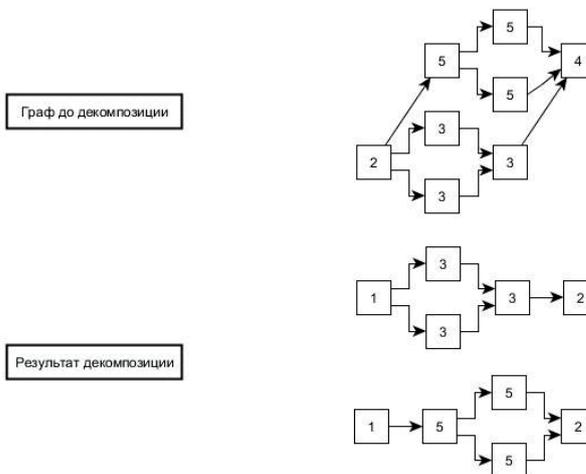


Рис. 3. Декомпозиция графа на параллельные подграфы
Fig. 3. Decomposition of the graph into parallel subgraphs

После каждой из декомпозиций полученные подграфы с числом вершин, не превышающим 6, заменяем на одну вершину с весом $\frac{1}{F(G)}$. К остальным подграфам рекурсивно применим

описываемый алгоритм. Заметим, что после каждой из декомпозиций полученные подграфы удовлетворяют свойствам сетевого графика.



В третьем случае декомпозиция графа данными методами невозможна. Используем следующую эвристику: для проекта, отображаемого сетевым графиком, декомпозиция которого невозможна приведенными выше способами, существует сетевой график, не нарушающий связей операций внутри проекта и при этом являющийся лучшим с точки зрения числа параллельных операций. В этом случае необходимо привести сетевой график к декомпозируемому виду путем изменения структуры графа, а затем применить алгоритм декомпозиции к полученному графу.

После получения всех подграфов с числом вершин, не превышающим b , и заменой их на вершины с весом $\frac{1}{F(G)}$, необходи-

мо соединить полученные вершины связями, соответствующими исходному графу. К полученному графу необходимо рекурсивно применить описываемый алгоритм. Данный алгоритм уменьшает количество вершин в графе, следовательно процесс завершится и алгоритм закончит свою работу. Результатом работы алгоритма является число, отражающее качество построенного сетевого графика проекта.

Заключение

Предложенный в работе метод был реализован программно, и его корректность была подтверждена на конкретных вычислительных экспериментах. Примеры работы алгоритма изображены на Рисунке 4.

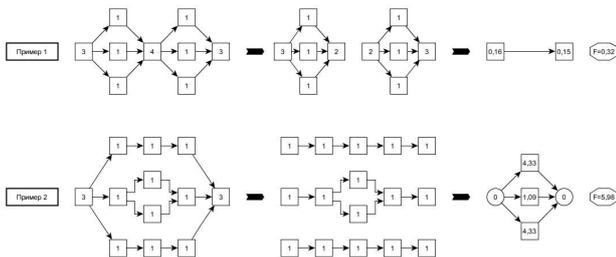


Рис. 4. Примеры работы алгоритма
Fig. 4. Examples of the algorithm work

В этих примерах на вход алгоритму декомпозиции подается два различных сетевых графика некоторого проекта, в которых часть работ (на ярусе с номером 3) запланирована различным образом. В первом случае все работы этого яруса объединены в одну операцию. Во втором случае работы разбиты на 4 операции. В обоих случаях работы имеют одинаковый суммарный вес, но по-разному входят в сетевой график.

В ходе работы алгоритма второй граф получает более высокое значение степени распараллеленности, чем первый граф. Действительно, во втором графе работы ярус с номером 3 является более распараллеленным (состоит из 4 взаимно параллельных вершин), чем в ярус с номером 3 в первом графе (состоит из 1 вершины). Таким образом, второй граф является более распараллеленным, чем первый.

Представленный в работе подход, основанный на предложенном алгоритме декомпозиции сетевых графиков и вычислении функционала $F(G)$, позволяет эффективно оценивать и сравнивать качество сетевых графиков, решающих задачу планирования одного и того же проекта.

Список использованных источников

- [1] Пучкин Д.А. Анализ и исследование свойств сетевых графиков в управлении проектами // Сборник тезисов лучших выпускных квалификационных работ факультета ВМК МГУ 2017 года / И.В. Капалин, И.Г. Шевцова. М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ имени М.В. Ломоносова; МАКС Пресс, 2017. С. 111-113. URL: <http://smu.cs.msu.ru/sites/default/files/attachments/diploma-abstracts-2017.pdf> (дата обращения: 10.02.2019).
- [2] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Fifth Edition. Project Management Institute, Inc., USA, 2013. p. 589. URL: http://fbs.dinus.edu/repository/docs/ajar/PMBOKGuide_5th_Ed.pdf (дата обращения: 10.02.2019).
- [3] Ларсон Э.У., Грей К.Ф. Управление проектами. М.: Дело и сервис, 2013. 784 с.
- [4] Mazzuto G., Bevilacqua M., Ciarpica F.R. A heuristic scheduling algorithm based on fuzzy logic and critical chain project management // International Journal of Project Organisation and Management. 2017. Vol. 9, no. 4. Pp. 303-327. DOI: 10.1504/IJPOM.2017.088244
- [5] Takahashi M., Indulaska M., Steen J. Collaborative Research Project Networks: Knowledge Transfer at the Fuzzy Front End of Innovation // Project Management Journal. 2018. Vol.49, Issue4. Pp.36-52. DOI:10.1177/8756972818781630
- [6] Kerr C., Ford S. Fleet planning and technology upgrade projects: supporting decision-making through visualisation // International Journal of Project Organisation and Management. 2018. Vol. 10, no. 4. Pp. 287-306. DOI: 10.1504/IJPOM.2018.095294
- [7] Rezvani A., Khosravi P. Identification of failure factors in large scale complex projects: an integrative framework and review of emerging themes // International Journal of Project Organisation and Management. 2019. Vol. 11, no. 1. Pp. 1-21. DOI: 10.1504/IJPOM.2019.098723
- [8] Browning T.R. Planning, Tracking, and Reducing a Complex Project's Value at Risk // Project Management Journal. 2019. Vol. 50. Pp. 71-85. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/planning-tracking-reducing-complex-projects-risk-11476> (дата обращения: 10.02.2019).
- [9] Creasy T., Fan Y., Johnson N. Practitioners' preference: which project planning components offer the most promise? // International Journal of Project Organisation and Management. 2017. Vol. 9, no. 2. Pp. 113-132. DOI: 10.1504/IJPOM.2017.085290
- [10] Bañuls V.A., Lopez C., Turoff M., Tejedor F. Predicting the Impact of Multiple Risks on Project Performance: A Scenario-Based Approach // Project Management Journal. 2017. Vol. 48, no. 5. Pp. 95-114. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/predicting-multiple-risks-impact-on-project-performance-10923> (дата обращения: 10.02.2019).
- [11] Steen J., DeFillippi R., Sydow J., Pryke S., Michelfelder I. Project and Networks: Understanding Resource Flows and Governance of Temporary Organizations with Quantitative and Qualitative Research Methods // Project Management Journal. 2018. Vol. 49, no. 2. Pp. 3-17. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/projects-networks-11119> (дата обращения: 10.02.2019).



- [12] Laursen M. Project Networks as Constellations for Value Creation // Project Management Journal. 2018. Vol. 49, no. 2. Pp. 56-70. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/project-networks-value-creation-constellations-11117> (дата обращения: 10.02.2019).
- [13] Pryke S., Badi F., Almadhoob H., Soundararaj B., Addyman S. Self-Organizing Networks in Complex Infrastructure Projects // Project Management Journal. 2018. Vol. 49, no. 2. Pp. 18-41. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/self-organizing-networks-complex-infrastructure-projects-11116> (дата обращения: 10.02.2019).
- [14] Введение в дискретную математику / С.В. Яблонский. 6-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2010. 384 с.
- [15] Ватутин Э.И., Зотов И.В., Титов В.С., Сохэн М.Ю. Комбинаторно-логические задачи синтеза разбиений параллельных алгоритмов логического управления при проектировании логических мультиконтроллеров. Курск: Изд-во КурскГТУ, 2010. 199 с.
- [16] Касьянов В.Н., Евстингеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 1104 с.
- [17] Иорданский М.А. Конструктивная теория графов и её приложения. Н. Новгород: Кириллица, 2016. 172 с. URL: <https://iordanskyma.files.wordpress.com/2017/03/d0bad0bdd0b8d0b3d0b0.pdf> (дата обращения: 10.02.2019).
- [18] Быкова В.И., Солдатенко А.А. Оптимальная маршрутизация по ориентирам в нестационарных сетях // Прикладная дискретная математика. 2017. № 37. С. 114-123. DOI: 10.17223/20710410/37/10
- [19] Белим С.В., Богаченко Н.Ф. Проверка соответствия ориентированного графа алгебраической решетке // Прикладная дискретная математика. 2018. № 41. С. 54-65. DOI: 10.17223/20710410/41/6
- [20] Харари Ф. Теория графов. М.: Ленанд, 2018. 304 с.
- [21] Baudon O., Bensmail J., Davot T., Hocquard H., Przbylo J., Senhaji M., Sopena E., Wozniak M. A general decomposition theory for the 1-2-3 Conjecture and locally irregular decompositions // Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science. 2019. Vol. 21, no. 1. URL: <https://dmtdcs.episciences.org/5334> (дата обращения: 10.02.2019).
- [22] Furuya M. Forbidden subgraphs for constant domination number // Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science. 2018. Vol. 20, no. 1. URL: <https://dmtdcs.episciences.org/4548> (дата обращения: 10.02.2019).
- [23] Furuya M., Matsumoto N. Forbidden subgraphs for k vertex-disjoint stars // Journal of Combinatorics. 2018. Vol. 9, no. 4. Pp. 721-738. DOI: 10.4310/JOC.2018.v9.n4.a8

Поступила 10.02.2019; принята к публикации 15.03.2019;
опубликована онлайн 19.04.2019.

Об авторах:

Абрамов Владимир Геннадьевич, доцент, кафедры алгоритмических языков, факультет вычислительной математики и кибернетики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1), кандидат физико-математических наук, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6818-9378_vlabr@cs.msu.ru

Горячая Илона Владимировна, ассистент, кафедры алгоритмических языков, факультет вычислительной математики и кибернетики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1), кандидат физико-математических наук, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6237-9614_g-ilona@mail.ru

Пучкин Данила Андреевич, магистрант, кафедры алгоритмических языков, факультет вычислительной математики и кибернетики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1), ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4159-1252_danila.puchkin@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Puchkin D.A. Analysis and Research of Network Properties in Project Management. Proceedings of theses of the best final qualifying works of the MSU Faculty СМC. Kapalin I.V., Shevtsova I.G. (eds) M.: MAKS Press, 2017, pp. 111-113. Available at: <http://smu.cs.msu.ru/sites/default/files/attachments/diploma-abstracts-2017.pdf> (accessed 10.02.2019). (In Russ.)
- [2] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Fifth Edition. Project Management Institute, Inc., USA, 2013. p. 589. Available at: http://fbs.dinus.edu/repository/docs/ajar/PMBOKGuide_5th_Ed.pdf (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [3] Larson C.F., Gray E.W. Project Management: Managerial Process. 5th edition. McGraw-Hill, 2011. pp. 608. (In Eng.)
- [4] Mazzuto G., Bevilacqua M., Ciarpica F.R. A heuristic scheduling algorithm based on fuzzy logic and critical chain project management. *International Journal of Project Organisation and Management*. 2017; 9(4):303-327. (In Eng.) DOI: 10.1504/IJPO.2017.088244
- [5] Takahashi M., Induluska M., Steen J. Collaborative Research Project Networks: Knowledge Transfer at the Fuzzy Front End of Innovation. *Project Management Journal*. 2018; 49(4):36-52. (In Eng.) DOI: 10.1177/8756972818781630
- [6] Kerr C., Ford S. Fleet planning and technology upgrade projects: supporting decision-making through visualisation. *International Journal of Project Organisation and Management*. 2018; 10(4):287-306. (In Eng.) DOI: 10.1504/IJPO.2018.095294
- [7] Rezvani A., Khosravi P. Identification of failure factors in large scale complex projects: an integrative framework and review of emerging themes. *International Journal of Project Organisation and Management*. 2019; 11(1):1-21. (In Eng.) DOI: 10.1504/IJPO.2019.098723
- [8] Browning T.R. Planning, Tracking, and Reducing a Complex Project's Value at Risk. *Project Management Journal*. 2019; 50:71-85. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/planning-tracking-reducing-complex-projects-risk-11476> (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [9] Creasy T., Fan Y., Johnson N. Practitioners' preference: which project planning components offer the most promise? *International Journal of Project Organisation and Management*. 2017; 9(2):113-132. (In Eng.) DOI: 10.1504/



- IJPOM.2017.085290
- [10] Bañuls V.A., Lopez C., Turoff M., Tejedor F. Predicting the Impact of Multiple Risks on Project Performance: A Scenario-Based Approach. *Project Management Journal*. 2017; 48(5):95-114. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/predicting-multiple-risks-impact-on-project-performance-10923> (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [11] Steen J., DeFillippi R., Sydow J., Pryke S., Michelfelder I. Project and Networks: Understanding Resource Flows and Governance of Temporary Organizations with Quantitative and Qualitative Research Methods. *Project Management Journal*. 2018; 49(2):3-17. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/projects-networks-11119> (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [12] Laursen M. Project Networks as Constellations for Value Creation. *Project Management Journal*. 2018; 49(2):56-70. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/project-networks-value-creation-constellations-11117> (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [13] Pryke S., Badi F., Almadhoob H., Soundararaj B., Addyman S. Self-Organizing Networks in Complex Infrastructure Projects. *Project Management Journal*. 2018; 49(2):18-41. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/self-organizing-networks-complex-infrastructure-projects-11116> (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [14] Yablonsky S.V. Introduction to Discrete Mathematics. Higher School, Moscow, 2003. pp. 384. (In Russ.)
- [15] Vatutin E.I., Zotov I.V., V.S. Titov et al., Combinatorial-logic Problems of Synthesis of Separations of Parallel Logic Control Algorithms in Design of Logic Multicontrollers. Kursk State Technical University, Kursk, 2010. pp. 199. (In Russ.)
- [16] Kasyanov V.N., Evstigneev V.N. Graphs in Programming: Processing, Visualization and Application. BHV-Petersburg, St. Petersburg, 2003. pp. 1104. (In Russ.)
- [17] Iordansky M.A. Constructive Graph Theory and its Applications. N. Novgorod, Kirillitsa, 2016. pp. 172. Available at: <https://iordanskyma.files.wordpress.com/2017/03/d0bad0bdd0b8d0b3d0b0.pdf> (accessed 10.02.2019). (In Russ.)
- [18] Bykova V.V., Soldatenko A.A. Optimal Routing by Landmarks in the Time-Dependent Networks. *Applied Discrete Mathematics*. 2017; 37:114-123. (In Russ.) DOI: 10.17223/20710410/37/10
- [19] Belim S.V., Bogachenko N.F. The Check of the Correspondence of the Directed Graph to the Algebraic Lattice. *Applied Discrete Mathematics*. 2018; 41:54-65. (In Russ.) DOI: 10.17223/20710410/41/6
- [20] Harary F. Graph Theory. Reading, MA: Addison-Wesley, 1969. (In Eng.)
- [21] Baudon O., Bensmail J., Davot T., Hocquard H., Przybylo J., Senhaji M., Sopena E., Wozniak M. A general decomposition theory for the 1-2-3 Conjecture and locally irregular decompositions. *Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science*. 2019; 21(1). Available at: <https://dmtcs.episciences.org/5334> (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [22] Furuya M. Forbidden subgraphs for constant domination number. *Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science*. 2018; 20(1). Available at: <https://dmtcs.episciences.org/4548> (accessed 10.02.2019). (In Eng.)
- [23] Furuya M., Matsumoto N. Forbidden subgraphs for k vertex-disjoint stars. *Journal of Combinatorics*. 2018; 9(4):721-738. (In Eng.) DOI: 10.4310/JOC.2018.v9.n4.a8
- Submitted 10.02.2019; revised 15.03.2019; published online 19.04.2019.

About the authors:

Vladimir G. Abramov, Associate Professor, Department of Algorithmic Languages, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6818-9378>, vlabr@cs.msu.ru

Iлона V. Goryachaya, Assistant Lecturer, Department of Algorithmic Languages, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6237-9614>, g-ilona@mail.ru

Danila A. Puchkin, Master's Degree student, Department of Algorithmic Languages, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4159-1252>, danila.puchkin@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

