

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О НАЗНАЧЕНИИ СОТРУДНИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

В. А. Судаков¹, Ю. П. Титов²

¹sudakov@ws-dss.com, ²kalengul@mail.ru

¹ Российский экономический институт им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

¹ ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия

² ФГБОУ ВО Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Поступила в редакцию 12 февраля 2021 г.

Аннотация. Современные средства планирования процесса разработки и производства оперируют календарными планами. Основным недостатком календарных планов является сложность в определении времени выполнения задачи. В работе рассматривается подход, позволяющий оценить время выполнения задачи в виде нечеткой функции, используя в качестве исходных данных оценочное представление сотрудников. Описана процедура вычисления времени задачи при условии назначения на нее нескольких сотрудников и учета времени, необходимого на их взаимодействие. Возникающую при этом задачу о рациональном назначении сотрудников предлагается решать с помощью модификации метода муравьиных колоний.

Ключевые слова: нечеткие множества; задача о назначении; метод муравьиных колоний; время выполнения работы.

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматривается задача оценки времени выполнения отдельных задач и работы в целом. В настоящее время руководитель проекта сам определяет оценку времени выполнения всего проекта и отдельных его этапов на основе своего опыта и представления о сложности выполнения работы [1, 2]. Такой подход хорошо подходит для проектов аналогов. Для инновационных проектов определение времени выполнения работы затруднено и обычно опирается на некоторые экспертные оценки самих сотрудников. Например, для разработки программного обеспечения применяют гибкую методологию Agile [3 – 5].

При использовании оценок сотрудников, возникает проблема неточности определе-

ния времени выполнения задачи одним конкретным сотрудником. Для решения данной проблемы предлагается применять нечеткие множества. В результате опроса можно для каждого сотрудника построить нечеткое множество времени выполнения задачи. При этом для каждого сотрудника может быть задано несколько нечетких множеств для каждой задачи, которую он может выполнять

[6–12]. В результате возникает задача о рациональном назначении сотрудников на задачи с целью минимизации итогового времени выполнения проекта.

Для случая, когда на одну задачу можно назначить только одного сотрудника, задача о назначении решается методами динамического программирования, так как имеет сепарабельную функцию и аддитивные огра-

ничения. Для оптимизации по нечеткому множеству применяют процедуру дефаззификации для получения конкретного значения критерия оптимизации.

Если на одну задачу может быть назначено несколько сотрудников, то вычисление времени выполнения задачи не может быть выполнено обычными математическими методами [13]. Необходимо применить процедуру обобщения нечетких множеств, заданных на различных несущих множествах, и учесть время на взаимодействие сотрудников. В результате решение задачи о назначении сотрудников невозможно методами динамического программирования. В работе предлагается использование модификации метода муравьиных колоний для решения задачи о назначении.

ОБОБЩЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Основная проблема при обобщении нечетких множеств заключается в различных несущих множествах и операции определения результирующего несущего множества. Так для обобщения нечетких множеств, описывающих время выполнения задачи, рассматривают несущее множество не времени выполнения задачи, а производительности сотрудника. Для этого вычисляют обратную величину от времени выполнения (2) и соответствующему значению функции принадлежности для нечеткого множества (1).

$$\mu_{i,j,k} = 1 - v_{i,j,k}; \quad (1)$$

$$p_{i,j,k} = 1/t_{i,j,k}; \quad (2)$$

Для двух нечетких функций производительности сотрудников операция обобщения заключается в поиске значения функции принадлежности для каждого значения обобщенной производительности сотрудников, вычисленной как сумма производительностей всех сотрудников, назначенных на эту задачу. Но из-за суммы двух и более непрерывных чисел вычисления значения функции принадлежности, удовлетворяющее условию обобщения (3) практически невозможно.

$$\mu_j(p_j) = \max_{p_j = \sum_{i \in I_j} p_{i,j}} (\min_i (\mu_{i,j}(p_{i,j}))) \quad (3)$$

Для поиска значения функции принадлежности предлагается рассмотреть задачу в ином виде. Предлагается перебирать не значения производительности (несущего множества), а значения функции принадлежности и для каждого такого значения определять производительности работников [14, 15]. Такая постановка возможна при выполнении условий непрерывности и монотонности функций принадлежности нечетких функций производительности, что в большинстве случаев выполняется. Для формулы (3) максимальное значение принимается при одинаковых значениях функций принадлежности. В результате задачу вычисления нечеткой функции обобщенной функции принадлежности можно свести к поиску значений производительности при выполнении сотрудником задачи для определенного значения функции принадлежности. В результате, процедуру обобщения функций принадлежности можно представить в виде (4, 5):

$$\mu_{i1,j}(p_{i,j}) = \mu_{i2,j}(p_{i,j}) = \max_{p_j = \sum_{i \in I_j} p_{i,j}} (\min_i (\mu_{i,j}(p_{i,j}))) = \mu_j(p_j); \quad \forall i1, i2; \quad (4)$$

$$p_j = \sum_{i \in I_j} p_{i,j}; \quad \mu_j(p_j) = \mu_{i,j}(p_{i,j}), \text{ для } \forall i \in I_j, \forall \mu_j(p_j) \in (0..1), \quad (5)$$

После получения обобщенной функции принадлежности вычисляется нечеткая функция времени выполнения задачи группой сотрудников.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И УЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОТРУДНИКОВ

После вычисления нечеткой функции времени выполнения каждой задачи можно вычислить время выполнения всей работы или этапа. Для начала нужно учесть взаимодействие работников, назначенных на одну задачу. Если представить самый неоптимальный случай взаимодействия, то он может быть описан фразой: «Хочешь сделать хорошо, сделай сам». В таком случае более опытный работник, т.е. работник, который делает работу быстрее, обучает неопытного до условного своего уровня (6).

$$t_{вз} = \max_t (v_{i1,j}(t_{i1,j}) - v_{i2,j}(t_{i2,j})), \text{ для } \forall i1, i2 \in I_j \quad (6)$$

Если рассматривать все возможные взаимодействия между работниками, то это время будет очень сильно влиять на общее время выполнения задачи. Взаимодействие между работниками может быть представлено в виде полносвязанного графа взаимодействия $G(V, E)$, где V – множество вершин, соответствующим работникам, а E – множество дуг, соответствующее взаимодействиям между ними и определяющие необходимое время.

В данной графе можно рассматривать различные пути, например, гамильтонов путь, определяющий самое оптимальное взаимодействие по цепочке. Но наилучшим решением предполагается некоторая организация процесса работы над выполнением задачи и применения, например, лидера или руководителя группы. Тогда стоит рассматривать дуги от руководителя до других сотрудников. При этом стоит учесть, что время на взаимодействие между сотрудниками следует брать с некоторым весовым коэффициентом $k_{вз}$ из промежутка $(0; 1)$. Но можно задавать взаимодействие работников и в виде нечеткой функции. Дальнейшее вычисление времени выполнения работы определяется возможностью к управлению последовательностью задач. Если имеется некоторая последовательность задач – календарный план или диаграмма Ганта, то возможно использование нечетких функций времени выполнения задачи для вычисления нечеткого времени выполнения работы. При этом время взаимодействия сотрудников сдвигает в большую сторону время выполнения задачи. Более простым является подход с дефаззификацией нечеткой функции и получения конкретного значения времени выполнения задачи. Среди множества алгоритмов дефаззификации рекомендуется использовать различные α -уровни. Если же определенной последовательности задач нет, например при SCRUM Sprint, то можно определять максимальное время выполнения задач или оптимизировать назначения до достижения определенных ограничений на время Sprint. В результате весь алгоритм работы с нечеткими множествами изображен на рис. 1. Следует отметить, что данный алгоритм может работать только при наличии информации о

назначении сотрудников на задачи, т.е. либо совместно с руководителем, решающим данный вопрос или с применением средств оптимизации. При этом чаще всего данные средства являются системами поддержки принятия решений, учитывающие предпочтения эксперта и осуществляющие поиск не только оптимального, но и рациональных решений. В данной статье рассматривается возможность применения модификации метода муравьиных колоний для поиска рациональных решений в задаче о назначении сотрудников.

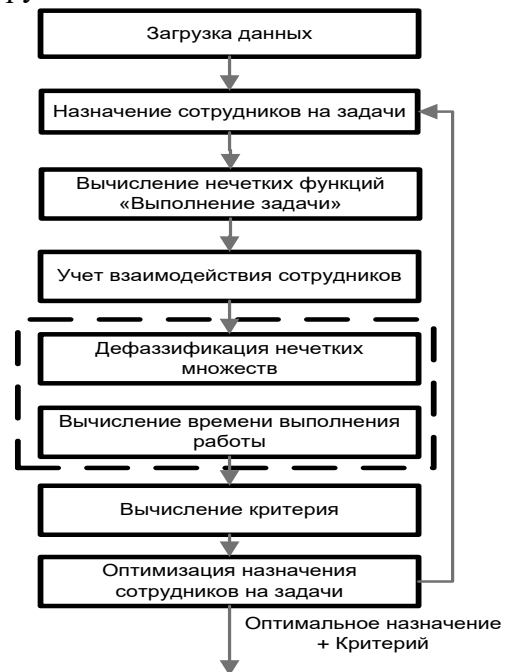


Рис. 1. Процесс вычисления времени выполнения работы группой сотрудников при использовании нечетких множеств

Fig. 1. The process of calculating the time of execution of work by a group of employees using fuzzy sets

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О НАЗНАЧЕНИИ

По результатам предложенных выше алгоритмов можно вычислить время выполнения работы для определенного назначения сотрудников на отдельные задачи. Для определения рационального назначения сотрудников по задачам предлагается применить модификацию метода муравьиных колоний. Оригинальный метод муравьиных колоний разработан для поиска пути коммивояжера в графе [16]. Но для решения задачи

о назначении необходимо использовать специальный граф решений (рис. 2) [17–20]. Для каждого сотрудника и задачи, которую он может выполнять, создается вершина. Все вершины, относящиеся к одному сотруднику, объединяются в слой. Дуги соединяют вершины из соседних слоев. При этом порядок слоев не важен, так как концом поиска решения является путь от вершины первого слоя и до последнего слоя. При этом стоит отметить, что в граф решений для каждого сотрудника необходимо добавить вершину, определяющую отсутствие назначения сотрудника на задачу. Во многом это необходимо из-за наличия учета времени взаимодействия сотрудников, т.е. добавление нового сотрудника может привести к затягиванию процесса решения задачи. Агенты (Муравьи) начинают движение из мнимой вершины, соединенной дугами со всеми вершинами первого слоя, т.е. первого сотрудника.

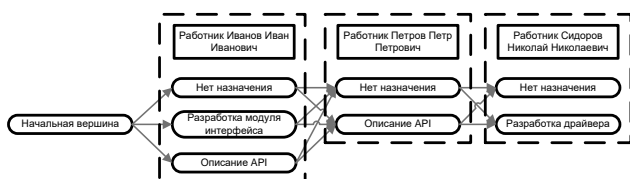


Рис. 2. Структура графа решений

Fig. 2. Structure of the decision graph

После прохождения завершения движения агента, его путь описывает назначение каждого сотрудника на конкретную задачу. Для полученного назначения определяется время выполнения работы. Вероятностный выбор между путями перемещения агента из одной вершины в соседнюю вершину определяется на основе весов (Феромона) соседних вершин. Выбор в качестве носителя весов – вершин графа обусловлен в первую очередь необходимостью определения конкретных назначений сотрудников, а не взаимосвязей между назначениями. Кроме этого данный подход позволяет сократить время работы алгоритма, так как количество вершин в графе решений сильно меньше числа дуг. Процедура испарения весов с вершин графа аналогична оригинальной процедуре. Для работы алгоритма за одну итерацию по

графу решений проходит не один агент, а некоторая группа. После прохождения всеми агентами из группы по графу решений и вычисления времени выполнения работы для найденных путей производится изменение весов вершин графа решений. В зависимости от времени выполнения работы на каждую вершину из пути, пройденного агентом, заносится дополнительный вес. Чем меньше время выполнения работы, тем больше весов будет занесено на соответствующие вершины и тем больше вероятности последующего выбора агентами этих вершин. Данная процедура позволяет итерационно сходиться к оптимальному решению. Последовательность этапов алгоритма представлена на рис. 3 [21, 22].

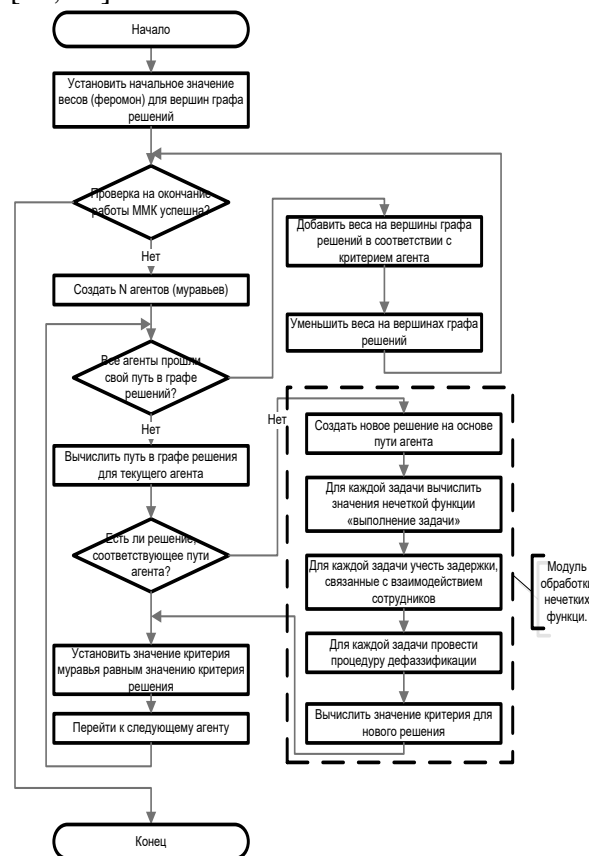


Рис 3. Алгоритм модификации метода муравьиных колоний

Fig 3. Algorithm for modification of the ant colony method

Предлагаемый алгоритм позволяет находить рациональные назначения сотрудников на задачи.

Для ускорения поиска рациональных решений можно применять различные методы: установка оптимальных параметров алгоритма муравьиных колоний, применение модификаций метода муравьиных колоний, например, ранжированную модификацию и другие.

Кроме того стоит отметить что для алгоритма муравьиных колоний размыта процедура остановки его работы, например, остановка может быть при определенном числе итераций или при нахождении решения, удовлетворяющего ограничениям. В общем случае работу алгоритма можно и не останавливать.

Следует отметить также о проблеме «зацикливания» метода муравьиных колоний, т.е. состояния, когда распределение весов на графе решений не позволяет агентам двигаться по новым путям.

В результате алгоритм не может найти решения отличного от имеющегося. Для решения данной проблемы предлагается сбрасывать граф решений при достижении определенных критериев работы алгоритма.

РЕАЛИЗАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ

Для тестирования предлагаемого алгоритма рассматривалась задача о назначении 35 сотрудников по 15 задачам. Каждый сотрудник мог выполнять различное количество задач. Всего в рамках теста рассматривалось более 180 функций принадлежности «выполнение задачи конкретным сотрудником».

Для решения данной задачи написано программное обеспечение, позволяющее не только проводить поиск рационального с точки зрения времени выполнения работы решения, но и осуществлять перебор параметров метода муравьиных колоний для оптимизации скорости поиска решения.

В результате найдено оптимальное решение задачи о назначении в виде назначения сотрудников на задачи, а также оценки времени выполнения всей работы.

При тестировании были выявлены следующие закономерности в установке параметром метода муравьиных колоний: Количество агентов в одной группе следует

выбирать из интервала (Кол слоев графа решений; Кол слоев графа решений*2). Коэффициент испарения рекомендуется брать в диапазоне (0,8; 0,95).

При этом применять рекомендуется ранжированный алгоритм занесения весов с параметром, равным количество агентов/4.

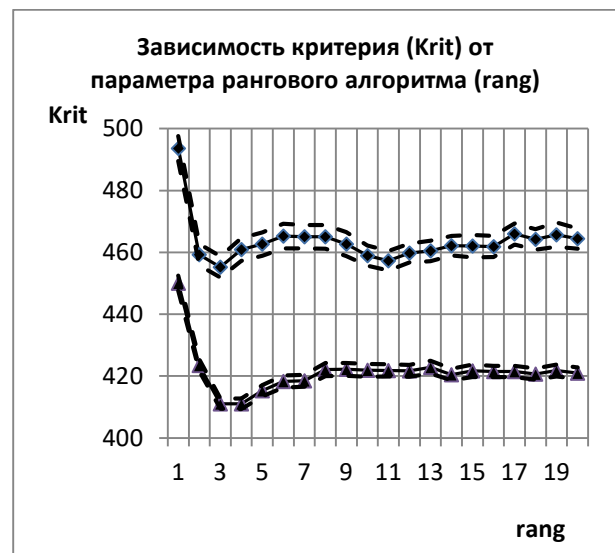
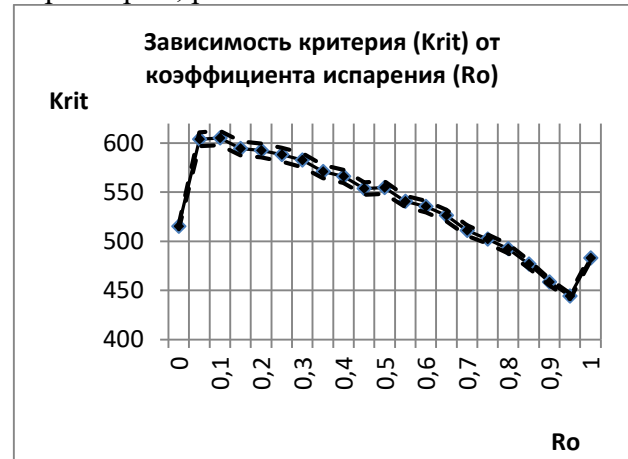


Рис. 4. Определение оптимальных параметров модификации метода муравьиных колоний

Fig. 4. Determination of the optimal parameters for the modification of the ant colony method

Для решения проблемы «зацикливания» рассматривались следующие состояния работы метода:

На итерации не было найдено ни одного нового решения. Данный метод работает только в том случае, если хранится множество решений. Алгоритмически выполнить проверку просто, достаточно сравнить размерность множества решений до и после

итерации. Данный подход чаще других сбрасывает граф решений, так как он не учитывает, что на итерации агенты могут выбирать различные пути, а учитывает только процесс увеличения множества рассмотренных решений. Математическое ожидание значений критериев решений, найденных на итерации, равно значению на предыдущей итерации. Данный критерий позволяет судить о том, что агенты между итерациями выбирают одинаковые пути. С большой вероятностью при этом можно предположить, что и дальше, на следующей итерации, агенты выберут те же пути. При этом вычислено, что оптимальным оказался алгоритм сброса графа решений для случая, если новых решений найдено не было. После сброса графа решений есть возможность установить его рациональное состояние путем занесения феромона с найденных на настоящий момент рациональных маршрутов. Данный подход позволяет рассмотреть множество решений около уже найденных рациональных решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен подход, позволяющий оценить время выполнения работы, разбитой на задачи. В рамках этого подхода для каждой задачи можно задавать время ее выполнения в виде нечеткого множества. При этом учитывалось, что нечеткие множества задают сами сотрудники и общее время выполнения задачи определяется обобщенным временем выполнения задачи всем сотрудниками. При этом учитывается время, необходимое на взаимодействие сотрудников.

Приведен алгоритм обобщения нечетких множеств, заданных на различных несущих множествах. Описана процедура вычисления обобщенного времени выполнения задачи, путем перехода к производительности работника.

Предложена модификация метода муравьиных колоний для решения задачи поддержки решений. Для данной модификации агенты перемещаются по специальному графу решений. Описан алгоритм данной модификации и ее особенности. Данная модификация применялась для решения задачи назначения сотрудников на задачи.

Определены рациональные параметры модификации метода муравьиных колоний. Данные параметры позволяют ускорить время поиска рациональных решений.

Описаны основные проблемы метода муравьиных колоний, связанные с закликиванием алгоритма на одном решении. Для решения данной проблемы предлагается применять сброс графа решений. В результате появляется возможность не ограничиваться каким-то критерием остановки метода муравьиных колоний, так как улучшение решения происходит непрерывно.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 19-01-00520 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джамай Е. В., Зинченко А. С. Управление затратами предприятия машиностроения в современных финансовых условиях // Социально-экономические и гуманитарные исследования. 2015. № 7. С. 110–113. [E. V. Jamai, A. S. Zinchenko, "Cost management of a machine-building enterprise in modern financial conditions", (in Russian), in *Socialno-ekonomicheskie i gumanitarnye issledovaniya*, no. 7, pp. 110-113, 2015.]
2. **A Guide** to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Fifth Edition.
3. **Bushuyeva N., Bushuiev D., Bushuieva V.** AGILE Leadership of Managing Innovation Projects // Innovate Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2019. Vol. 10, No. 4. Pp. 77-84. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.10.077. [N. Bushuyeva, D. Bushuiev, V. Bushuieva, "AGILE Leadership of Managing Innovation Projects", in *Innovate Technologies and Scientific Solutions for Industries*, vol. 10, no. 4, pp. 77-84, 2019. DOI: 10.30837/2522-9818.2019.10.077.]
4. **Koçyiğit Yeşim, Akkaya Bulent.** The Role of Organizational Flexibility in Organizational Agility: A Research on SMEs // Business Management and Strategy. 2020. Vol. 11, no. 1. Pp. 110-123. DOI: 10.5296/bms.v11i1.16867. [Yeşim Koçyiğit, Bulent Akkaya, "The Role of Organizational Flexibility in Organizational Agility: A Research on SMEs", in *Business Management and Strategy*, vol. 11, no. 1, pp. 110-123, 2020.]
5. **Agile-манифест** разработки программного обеспечения. [Электронный ресурс]. URL: <http://agilemanifesto.org/> (дата обращения 15.12.2020). [Manifesto for Agile Software Development (2020, Dec. 15). [Online]. Available: <http://agilemanifesto.org/>]
6. **Chen S. P., Hsueh Y. J.** A Simple Approach to Fuzzy Critical Path Analysis in Project Networks // Applied Mathematical Modelling. 2008. Vol. 32. Pp. 1289-1297. DOI: 10.1016/j.apm.2007.04.009. [S. P. Chen, Y. J. Hsueh, "A Simple Approach to Fuzzy Critical Path Analysis in Project Networks",

in *Applied Mathematical Modelling*, vol. 32, pp. 1289-1297, 2008. DOI: 10.1016/j.apm.2007.04.009.]

7. **Liu S. T.** Fuzzy Activity Times in Critical Path and Project Crashing Problems // *Cybernetics and Systems: An international Journal*. 2003. Vol. 34. Pp. 161-172. DOI: 10.1080/01969720302865. [S. T. Liu, "Fuzzy Activity Times in Critical Path and Project Crashing Problems", in *Cybernetics and Systems: An international Journal*, vol. 34, pp. 161-172, 2003.]

8. **Popescu Costin-Ciprian.** On Critical Path with Fuzzy Weights // *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*. 2018. Vol. 52, no. 4. Pp. 49-60. DOI: 10.24818/18423264/52.4.18.04. [Costin-Ciprian Popescu, "On Critical Path with Fuzzy Weights", in *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, vol. 52, no. 4, pp. 49-5, 2018.]

9. **Shih P. C.** Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times // *European Journal of Operational Research*. 2007. Vol. 183 (1). Pp. 442-459. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.06.053. [P. C. Shih, "Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times", in *European Journal of Operational Research*, vol. 183 (1), pp. 442-459, 2007. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.06.053.]

10. **Pawe Z.** On computing the latest starting times and floats of activities in a network with imprecise durations // *Fuzzy Sets and Systems*. 2005. Vol. 150 (1). Pp. 53-76. DOI: 10.1016/j.fss.2004.08.007. [Z. Pawe, "On computing the latest starting times and floats of activities in a network with imprecise durations", in *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 150 (1), pp. 53-76, 2005. DOI: 10.1016/j.fss.2004.08.007.]

11. **Nasution S. H.** Fuzzy critical path method // *IEEE Trans Systems Man Cybernet*. 1994. Vol. 24. Pp. 48-57. DOI: 10.1109/21.259685. [S. H. Nasution, "Fuzzy critical path method", in *IEEE Trans Systems Man Cybernet*, vol. 24, pp. 48-57, 1994. DOI: 10.1109/21.259685.]

12. **Chen T. C., Sue F. H.** Applying fuzzy method for measuring criticality in project network // *Information Sciences*. 2007. Vol. 177 (12). Pp. 2448-2458. DOI: 10.1016/j.ins.2007.01.035. [T. C. Chen, F. H. Sue, "Applying fuzzy method for measuring criticality in project network", in *Information Sciences*, vol. 177 (12), pp. 2448-2458, 2007.]

13. **Зацаринный А. А., Коротков В. В., Матвеев М. Г.** Моделирование процессов сетевого планирования портфеля проектов с неоднородными ресурсами в условиях нечеткой информации // *Информатика и ее применения*. 2019. Т. 13, № 2. С. 92-99. [A. A. Zatsarinny, V. V. Korotkov, M. G. Matveev, "Modeling the processes of network planning of a portfolio of projects with heterogeneous resources in the conditions of fuzzy information", (in Russian), in *Informatika i eyo primeneniya*, vol. 13, no. 2, pp. 92-99, 2019.]

14. **Судаков В. А., Титов Ю. П.** Решение задачи определения времени выполнения работы группой сотрудников с помощью нечетких множеств // *Открытое образование*. 2019. Т. 23, № 5. С. 74-82. DOI: 10.21686/1818-4243-2019-5-74-82. [V. A. Sudakov, Yu. P. Titov, "Solution of the Problem of Determining the Time of Work by a Group of Employees Using Fuzzy Sets", (in Russian), in *Otkrytoe obrazovanie*, vol. 23, no. 5, pp. 74-82, 2019. DOI: 10.21686 / 1818-4243-2019-5-74-82.]

15. **Sudakov V. A., Titov Y. P.** Calculation of time to complete a task by a group of employees using fuzzy sets for the sustainable development of the enterprise // *Entrepreneurship and Sustainability*. 2020. Iss. 8 (1). Pp. 1001-1011. DOI:

10.9770/jesi.2020.8.1(67). [V. A. Sudakov, Y. P. Titov, "Calculation of time to complete a task by a group of employees using fuzzy sets for the sustainable development of the enterprise", in *Entrepreneurship and Sustainability*, iss. 8 (1), pp. 1001-1011, 2020. DOI: 10.9770/jesi.2020.8.1(67).]

16. **Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V.** Distributed optimization by ant colonies // *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*. ECAL'91. Elsevier, Paris, France. 1992. Pp. 34-142. [A. Colorni, M. Dorigo, V. Maniezzo, "Distributed optimization by ant colonies", in *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life (ECAL'91)*, pp. 34-142, 1992.]

17. **Карпенко А. П., Чернобривченко К. А.** Эффективность оптимизации методом непрерывно взаимодействующей колонии муравьев (ЦИАК) // *Наука и Образование. Электронный журнал*. 2011. № 2. Открытый доступ. URL: <http://technomag.edu.ru/> [A. P. Karpenko, K. A. Chernobrivchenko, "Optimization efficiency by the method of continuously interacting ant colony (CIAC)", (in Russian), in *Nauka i Obrazovanie. E`lektronny`j zhurnal*, no. 2, 2011. Open access URL: <http://technomag.edu.ru/>]

18. **Штовба С. Д.** Муравьиные алгоритмы // *Exponenta Pro, Математика в приложениях*. 2003. № 4 (4). С. 70-75. [S. D. Shtovba, "Ant algorithms", (in Russian), in *Exponenta Pro, Matematika v prilozheniyah*, no. 4 (4), pp 70-75, 2003.]

19. **Карелин В. П.** Модели и методы теории графов в системах поддержки принятия решений // *Вестник Таганрогского института управления и экономики*. 2014. Т. 2 (20). С. 69-73. [V. P. Karelin, "Models and methods of graph theory in decision support systems", (in Russian), in *Vestnik Taganrogskogo instituta upravleniya i ekonomiki*, vol. 2 (20), pp. 69-73., 2014.]

20. **Титов Ю. П., Давыдкина Е. А.** Расширение возможностей метода муравьиных колоний путем применения нечетких множеств // *Тенденции развития науки и образования*. 2019. Т. 2, № 54. С. 16-19. [Yu. P. Titov, E. A. Davydkina, "Expanding the capabilities of the ant colony method by using fuzzy sets", (in Russian), in *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*, vol. 2, no. 54, pp. 16-19, 2019.]

21. **Судаков В. А., Титов Ю. П.** Применение модифицированного метода муравьиных колоний для поиска рационального назначения сотрудников на задачи с применением нечетких множеств // *Статистика и Экономика*. 2020. № 17 (3). С. 79-91. DOI: 10.21686/2500-3925-2020-3-79-91. [V. A. Sudakov, Yu. P. Titov, "Application of the modified ant colony method to find the rational assignment of employees to tasks using fuzzy sets", (in Russian), in *Statistika i Ekonomica*, vol. 17 (3), pp. 79-91, 2020. DOI: 10.21686 / 2500-3925-2020-3-79-91.]

ОБ АВТОРАХ

СУДАКОВ Владимир Анатольевич, вед. науч. сотрудник Отдел №16 Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН. Зав. науч. лабораторией Научная лаборатория «Прикладное моделирование» Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Д. т. н., проф. Иссл. в обл. поддержки принятия решений, нечеткие множества, управление разработкой программного обеспечения, дискретное программирование, мультиагентное моделирование.

ТИТОВ Юрий Павлович, доц. каф. № 304. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) МАИ. Канд. техн. наук по системному анализу (МАИ, 2015). Иссл. в обл. поддержки принятия решений, нечеткие множества, метод муравьиных колоний.

METADATA

Title: Application of ant columns method modifications to support employee appointment decisions using fuzzy sets.

Authors: V. A. Sudakov¹, Yu. P. Titov²

Affiliation:

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Russia

¹ Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), Russia

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia.

Email: ¹ sudakov@ws-dss.com, ² kalengul@mail.ru

Language: Russian.

Source: SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 3, no. 1 (5), pp. 73-80, 2021. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

Abstract: Modern tools for planning the development and production process operate with schedules. The main disadvantage of scheduling is the difficulty in determining when to complete a task. The paper considers an approach that makes it possible to estimate the task execution time in the form of a fuzzy function, using the estimated representation of employees as input data. The procedure for calculating the time of a task is described, provided that several employees are assigned to it and the time required for their interaction is taken into account. It is proposed to solve the arising problem of the rational appointment of employees by modifying the ant colony method.

Key words: fuzzy sets; assignment problem; ant colony method; work time.

About authors:

SUDAKOV, Vladimir Anatolievich, Leading Researcher, Department No. 16, Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), Head of Scientific Laboratory Scientific Laboratory "Applied Modeling" Plekhanov Russian University of Economics, Doctor of Technical Sciences, Professor. Research in decision support, fuzzy sets, software development management, discrete programming, multi-agent modeling.

TITOV, Yuri Pavlovich, Associate Professor of Department No. 304. Moscow Aviation Institute (National Research University) MAI. Ph.D. on system analysis (MAI, 2015). Decision support research, fuzzy sets, ant colony method.