

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ГЕЙЛА-ШЕПЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИЕМА АБИТУРИЕНТОВ В ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ

К. Э. Рыскин, М. А. Аль Аскари, С. А. Федосин*
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)
**fedosinsa@mrsu.ru*

Введение. В статье анализируются быстродействие и стабильность компьютерной реализации алгоритма зачисления абитуриентов в ВУЗ на базе алгоритма Гейла-Шепли с различными сторонами инициации; рассматриваются качественные и количественные различия полученных размещений на одинаковых наборах данных.

Результаты исследования. Предлагается 2 варианта алгоритма зачисления абитуриентов, отличающихся сторонами инициации: «абитуриент» или «специальность». Для алгоритма со стороны инициации «абитуриент» производится размещение по специальностям по мере внесения данных об абитуриенте и обеспечение, таким образом, актуальности информации о размещении. Однако стоит заметить, что при удалении или изменении данных об абитуриенте необходимо запустить алгоритм с самого начала с использованием уже внесенных данных. Для алгоритма с иницирующей стороной «специальность» приоритеты специальностей относительно абитуриентов выстраиваются по мере подачи их заявлений и по требованию запуска алгоритма зачисления. Стоит заметить, что полученное размещение является более выгодным для стороны инициации. Кроме этого, рассматриваются характеристики среднего времени исполнения алгоритма в зависимости от изменения таких величин как количество абитуриентов, квота специальности, количество приоритетов у абитуриента, количество специальностей. Отметим, что различия результатов выполнения алгоритмов с разными сторонами инициации имеют не только качественное, но и количественное выражение (последнее обусловлено «равенством» поступающих в рамках какой-либо специальности).

Обсуждение и заключения. Предложенные в статье варианты алгоритма могут быть использованы приемной комиссией высшего учебного заведения для автоматизации процесса зачисления абитуриентов.

Ключевые слова: зачисление, абитуриент, алгоритм Гейла-Шепли, приемная комиссия, информационная система

Для цитирования: Рыскин К. Э., Аль Аскари М. А., Федосин С. А. Реализация алгоритма Гейла-Шепли для автоматизации приема абитуриентов в высшее учебное заведение // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 4. С. 462–474. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.462-474



IMPLEMENTATION OF THE GALE-SHAPLEY ALGORITHM FOR AUTOMATING RECEPTION OF UNIVERSITY APPLICANTS

K. E. Ryskin, M. A. Al Askari, S. A. Fedosin*

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

**fedosinsa@mrsu.ru*

Introduction. The article considers the realization of the algorithm enrollment of applicants to university on the basis of the Gale-Shapley algorithm with various parties initiating. The aim of this study is to analyze the performance and stability of the computer implementation of the algorithm. The qualitative and quantitative differences received on the same data sets are discussed.

Results. The authors propose two options algorithm for admission entrant, which differ in side initiation of the “enrollee” or “university”. For the algorithm, with a side of initiation “enrollee”, allocation can be made on specialties in process entering data about entrants, thereby to maintain the latest information about placing, but it’s worth noting that if you delete or change data of entrants you must run the algorithm from the beginning using the already entered data about the applicants. And for the algorithm with the initiating party “university” is possible to prioritize enrollee in specialty in process filing their applications and run the algorithm if necessary. It is worth noting that the resulting placement will be more beneficial to initiating parties. Also discusses the characteristics of the average execution time when these values change: the number of applicants, the quota in the specialty, the number of priorities in the entrant, the number of specialties. The authors point to the differences results of the algorithms with different parties initiating that is not only the qualitative difference of the results, but also quantitatively. The quantitative difference is due to “equality” of entrants a relatively some specialty.

Discussion and Conclusions. Variants proposed by the authors can be used for automatizing enrollment of university applicants.

Keywords: admission, enrollment, Gale-Shapley algorithm, selection committee, information system

For citation: Ryskin KE, Al Askari MA, Fedosin SA. Implementation of the Gale-Shapley algorithm for automating reception of university applicants. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 4(26):462-474. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201604.462-474

Введение

С введением приоритетов подачи абитуриентами заявлений на выбранные специальности появилось множество вопросов, связанных с размещением: как правильно выбрать последовательность действий для получения стабильного размещения; будет ли стабильное размещение уникальным; если нет, то чем оно отличается от других; можно ли производить зачисление сразу после подачи заявления абитуриентом.

Под стабильным размещением подразумевается ситуация, когда в результате работы алгоритма не найдется та-

ких сочетаний «специальность – абитуриент», которые не образовали пары, а при образовании пары окажутся в более выгодном положении (с точки зрения приоритетов), чем раньше. Другими словами, специальность для абитуриента более предпочтительна, как и абитуриент для специальности при оценке «удачности» сочетаний пар [1].

В качестве основы был выбран алгоритм Гейла-Шепли, поскольку он обеспечивает стабильные размещения, а также зарекомендовал себя в решении подобных задач (например, в системе распределения донорских орга-

нов между большими, модели работы двусторонних рынков и зачислении учащихся в школы [1–5]).

Стоит заметить, что данный алгоритм рассматривает варианты стабильных размещений, которые отличаются сторонами инициации и, следовательно, в результате работы получается набор из двух стабильных размещений, наиболее выгодных для иницирующих сторон [4].

Результаты исследования

Для моделирования работы алгоритма предположим, что:

- абитуриент имеет список приоритетов специальностей, на которые хочет поступить, а также перечень экзаменов и баллов по ним;

- университет имеет список специальностей, каждая из которых обладает квотой на зачисление абитуриентов, а также список экзаменов, необходимых для поступления;

- согласно Федеральному закону об образовании, абитуриенты с одинаковыми баллами зачисляются сверх квоты, если при отказе абитуриентам с наименьшим количеством баллов у специальности остались свободные места.

На рис. 1 представлена схема алгоритма с предлагающей стороной абитуриентов;

на рис. 2 – с предлагающей стороной специальностей. Стоит заметить, что асимптотика данных алгоритмов будет следующей:

1) с предлагающей стороной абитуриентов: $n \cdot k$, где n – количество абитуриентов; k – количество приоритетов у абитуриента;

2) с предлагающей стороной специальностей: $m \cdot p$, где m – количество специальностей; p – количество приоритетов у специальности.

Заметим, что такая характеристика получается при условии, что вспомогательные операции (добавление или, удаление абитуриента из размещения и др.) выполняются за константное время.

Для анализа представленных алгоритмов был написан программный код, позволяющий генерировать различные данные о специальностях и абитуриентах, а также тестировать с этими данными предложенные алгоритмы и анализировать полученные результаты [6–10].

С помощью генератора был получен набор данных, который демонстрирует, что размещения различаются не только качественно, но и количественно; квота специальностей следующая: Spec_1 – 2; Spec_2 – 3; Spec_3 – 1 (табл. 1–5)

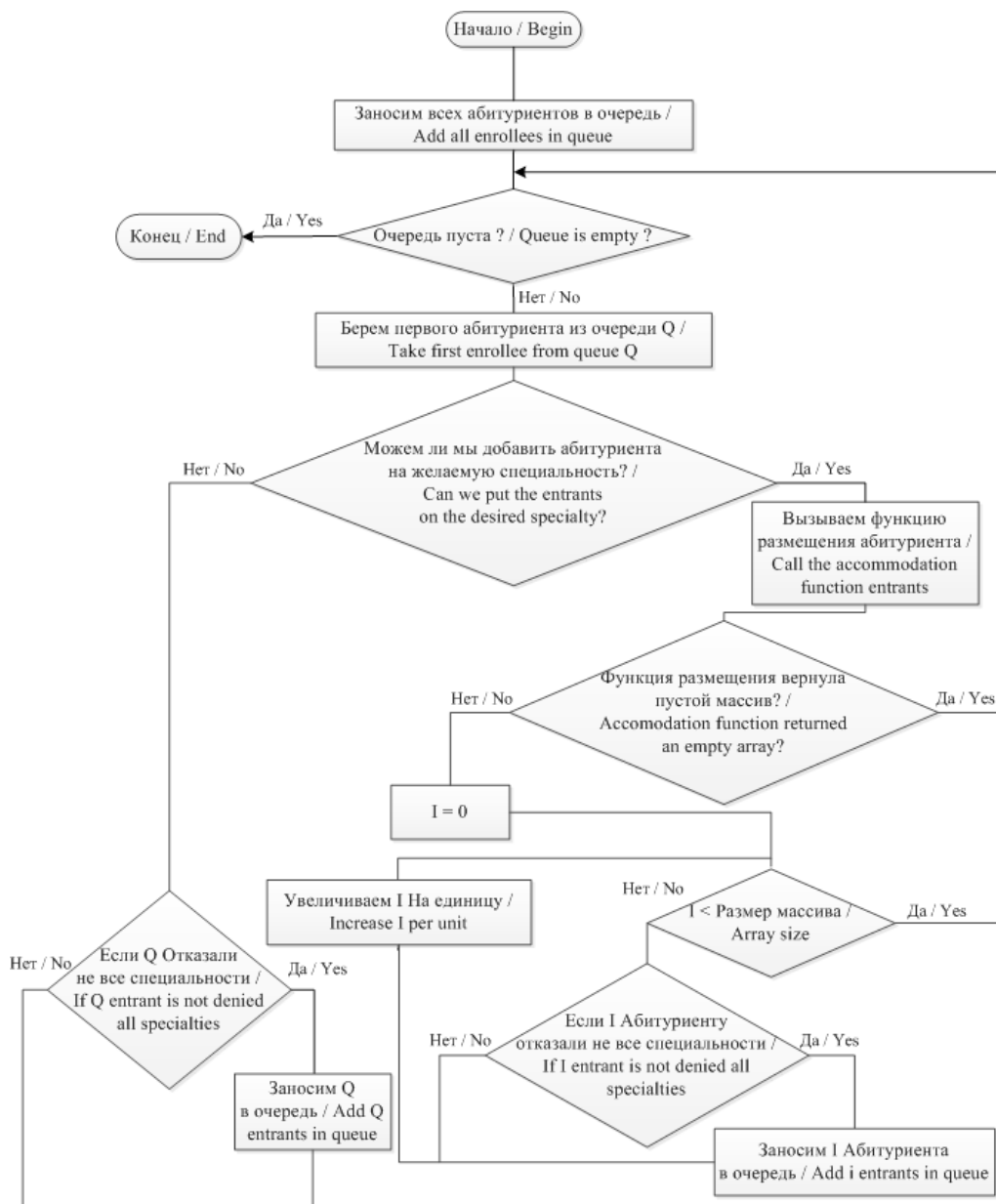
Таблица 1

Table 1

Предметы, необходимые для поступления на специальности

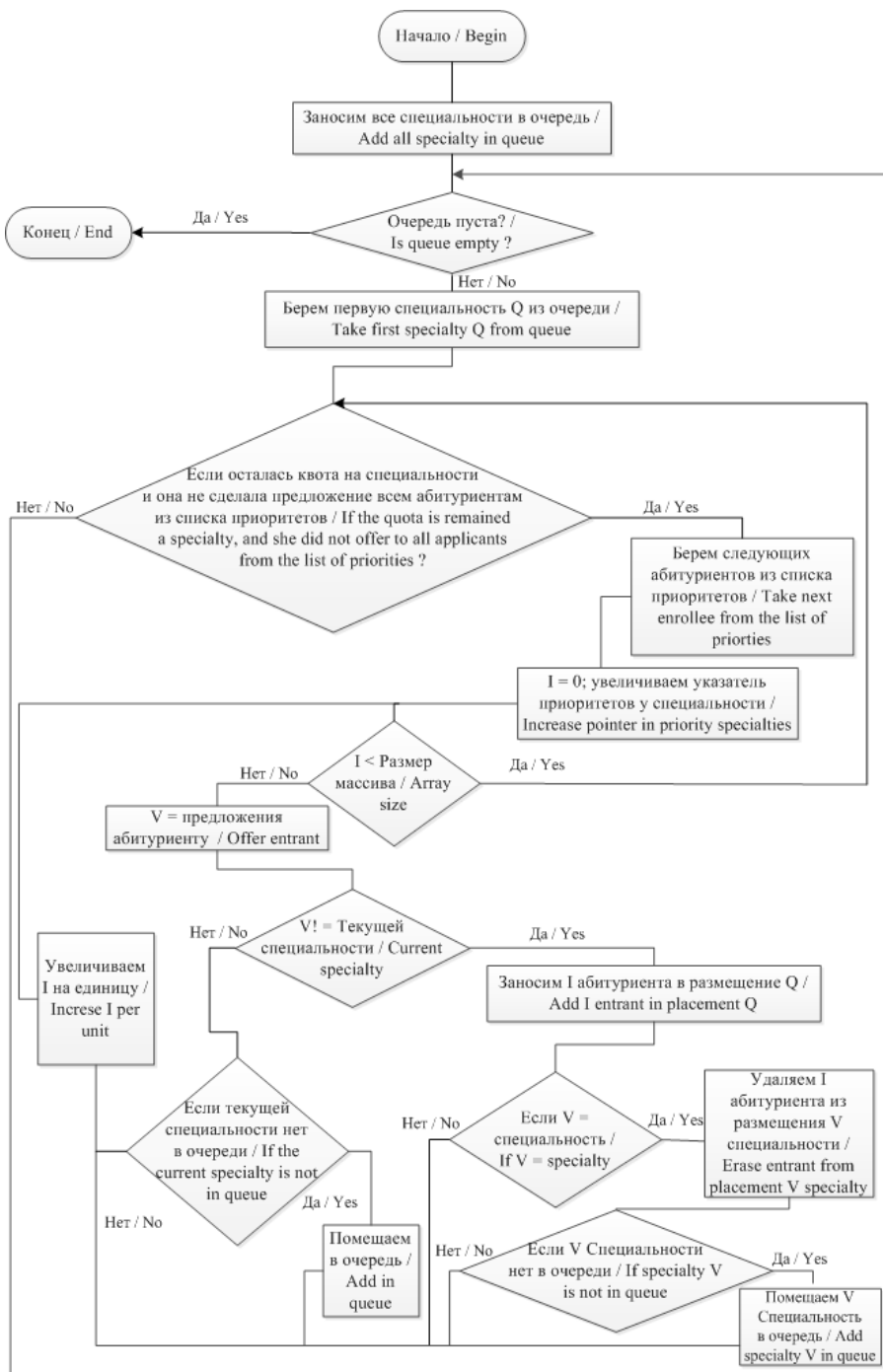
Items needed for admission to the specialty

Spec_1	Mathematics	Informatics
Spec_2	Physics	Language
Spec_3	Mathematics	Physics



Р и с. 1. Алгоритм действий с предлагающей стороной абитуриентов

F i g. 1. Action algorithm with offering enrollees



Р и с. 2. Алгоритм действий с предлагающей стороной специальностей

F i g. 2. Action algorithm with offering specialties



Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Экзамены, которые сдали абитуриенты**The examinations which passed enrollees**

Enrolle_1	Informatics 52	Language 22	Mathematics 7	Physics 3
Enrolle_2	Informatics 97	Language 10	Mathematics 9	Physics 75
Enrolle_3	Informatics 26	Language 86	Mathematics 33	Physics 57
Enrolle_4	Mathematics 53	Physics 42	–	–
Enrolle_5	Informatics 14	Language 3	Mathematics 46	–
Enrolle_6	Informatics 66	Language 11	Mathematics 66	Physics 70
Enrolle_7	Mathematics 72	Physics 100	–	–
Enrolle_8	Language 56	Physics 1	–	–
Enrolle_9	Mathematics 4	Physics 66	–	–
Enrolle_10	Language 50	Physics 36	–	–

Т а б л и ц а 3

T a b l e 3

Приоритеты абитуриентов**The priorities of enrollees**

Spec_1	Spec_2	Spec_3
Enrolle_3 59	Enrolle_2 85	Enrolle_7 172
Enrolle_5 60	Enrolle_6 81	–
Enrolle_1 59	Enrolle_10 86	–

Т а б л и ц а 4

T a b l e 4

Распределение с предлагающей стороной абитуриентов**Distribution with offering enrollees**

En1	En2	En3	En4	En5	En6	En7	En8	En9	En10
Spec2	Spec2	Spec1	Spec3	Spec1	Spec2	Spec3	Spec2	Spec3	Spec2
Spec1	Spec1	Spec3	–	Spec2	Spec1	–	–	–	–
–	–	Spec2	–	–	–	–	–	–	–

Распределение с предлагающей стороной специальностей

Distribution with offering specialties

Spec_1	Spec_2	Spec_3
Enrolle_6 132	Enrolle_3 143	Enrolle_7 172
Enrolle_5 60	Enrolle_10 86	–
–	Enrolle_2 85	–

Количественное различие полученных размещений связано с тем, что минимум 2 абитуриента могут оказаться «равными» для одной специальности. Заметим, что если убрать из предложения абитуриента 1, то размещения будут отличаться только качественно [11].

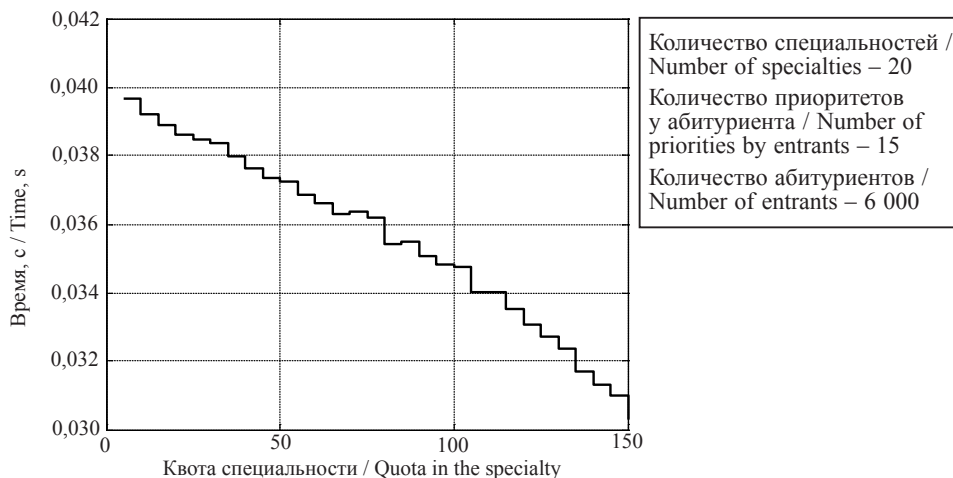
Качественное различие размещений обусловлено тем, что если для одного абитуриента специальность 1 находится на первом месте в списке приоритетов, это не означает, что для абитуриента 2 она также будет на первом месте. Это справедливо и для специальностей: если абитуриент 1 будет на первом месте в списке приоритетов

у специальности 1, это не означает, что он также будет находиться на первом месте у специальности 2, что обусловлено различными критериями оценки абитуриентов для различных специальностей [12–15].

Рассмотрим среднее время работы алгоритма в зависимости от изменения следующих величин:

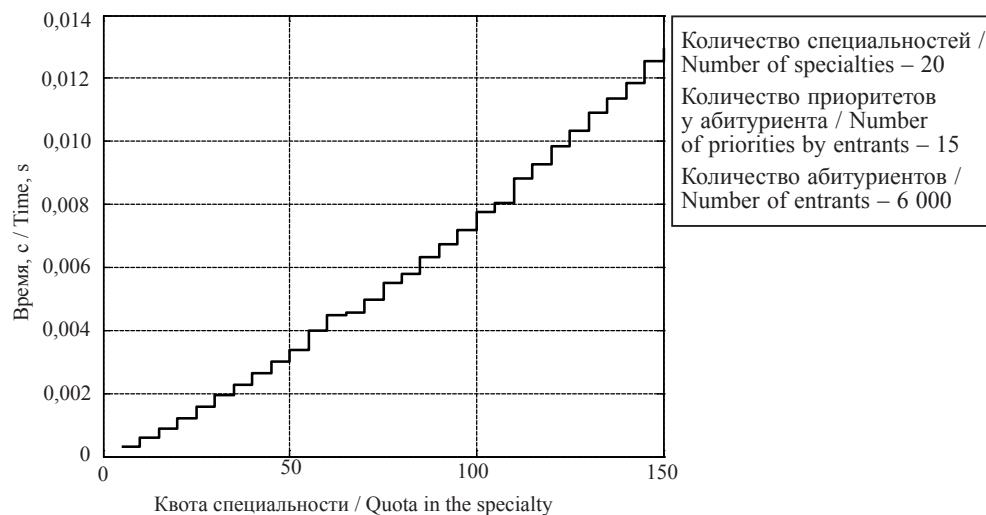
- 1) квота на специальности;
- 2) количество приоритетов у абитуриента;
- 3) количество специальностей;
- 4) количество абитуриентов.

1) Среднее время исполнения алгоритмов в зависимости от изменения квоты на специальности (рис. 3–4).



Р и с. 3. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов

F i g. 3. The average time of action when enrollees is offering

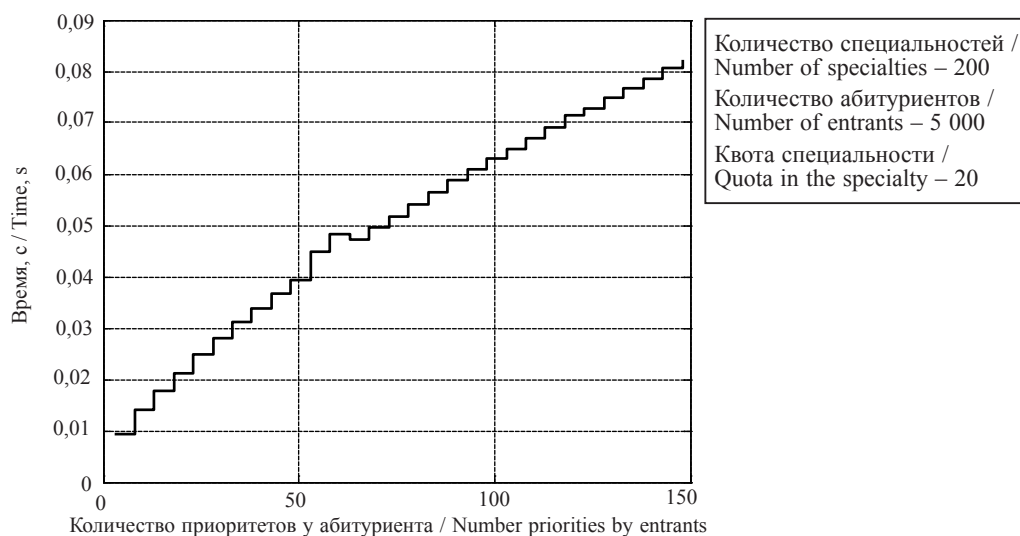


Р и с. 4. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей
F i g. 4. The average time of action when offer the specialty

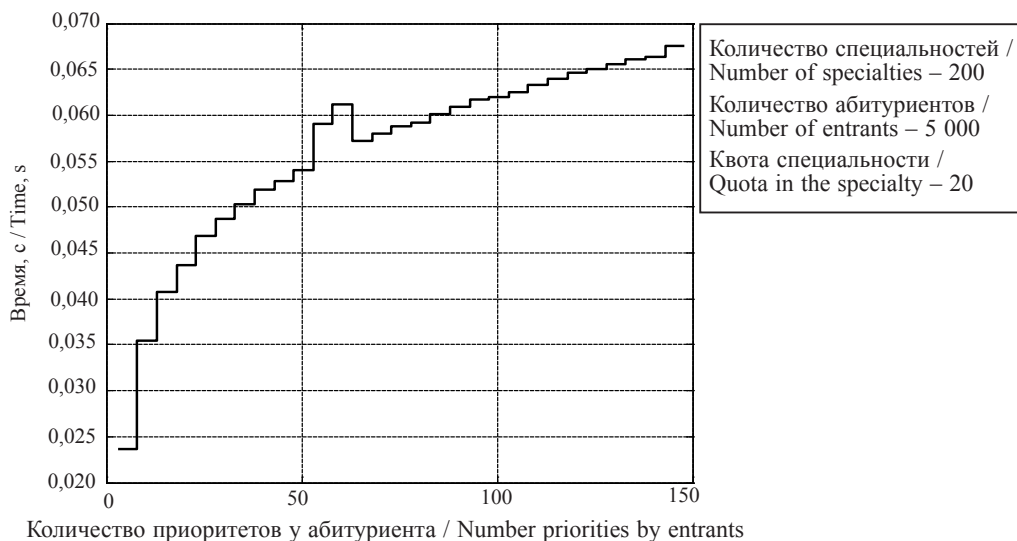
На рис. 3 видно, что при увеличении квоты у специальности среднее время исполнения уменьшается, поскольку абитуриенты получают меньше «отказов». На рис. 4, среднее время увеличивается; это обусловлено тем,

что специальности делают больше итераций предложений.

2) Среднее время исполнения алгоритмов в зависимости от изменения количества приоритетов у абитуриента (рис. 5–6).



Р и с. 5. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов
F i g. 5. The average time of action when enrolees is offering

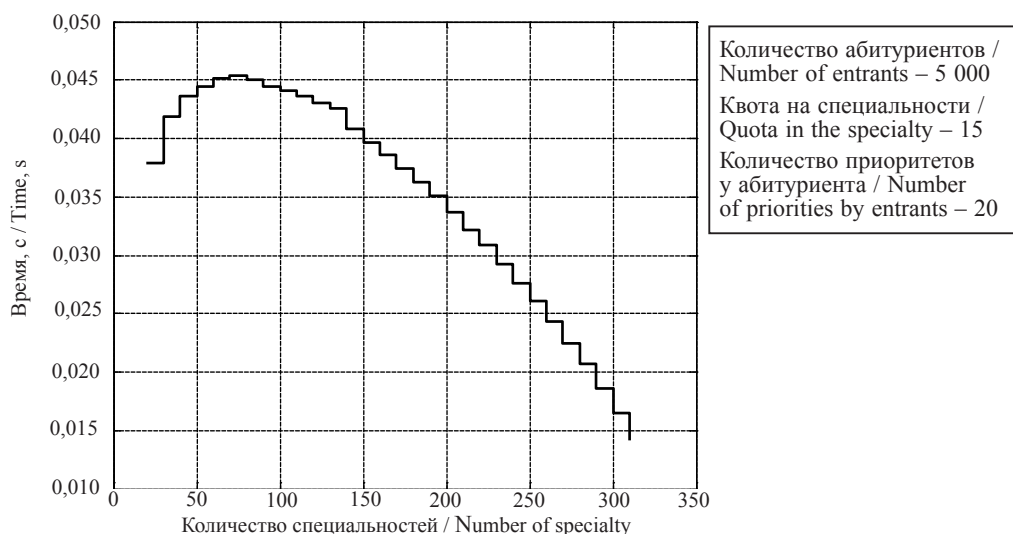


Р и с. 6. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей
F i g. 6. The average time of action when offer the specialty

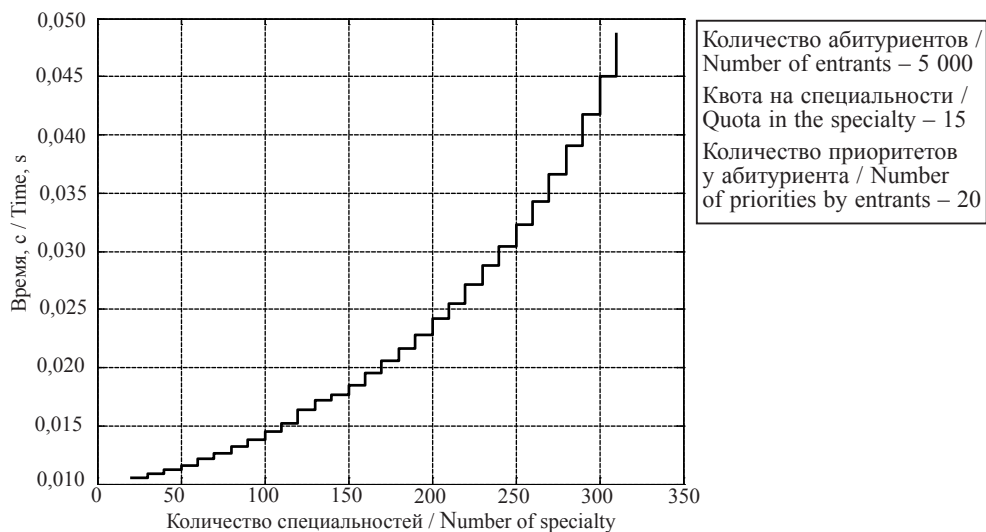
На рис. 5 показано, что среднее время работы увеличивается, поскольку абитуриенты делают больше предложений. На рис. 6 видно, что время средней работы также увеличивается. Это связано с тем, что при росте количества приоритетов у абитуриента

последний чаще получает более выгодные для себя – это увеличивает количество итераций предложения специальности.

3) Среднее время исполнения в зависимости от изменения количества специальностей (рис. 7–8).



Р и с. 7. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов
F i g. 7. The average time of action when enrolees is offering



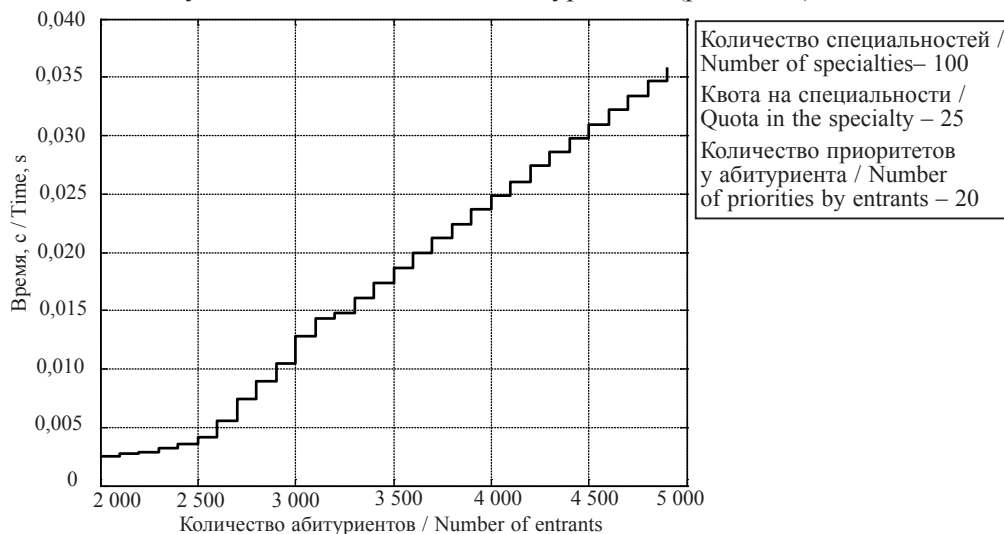
Р и с. 8. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей

F i g. 8. The average time of action when offer the specialty

Из рис. 7 видно, что при увеличении количества специальностей среднее время исполнения сначала увеличивается, а затем уменьшается. Увеличение связано с тем, что абитуриенты чаще делают предложения одинаковым специальностям, следовательно, чаще получают отказ. Уменьшение также связано с тем, что количество специальностей увеличивается и, сле-

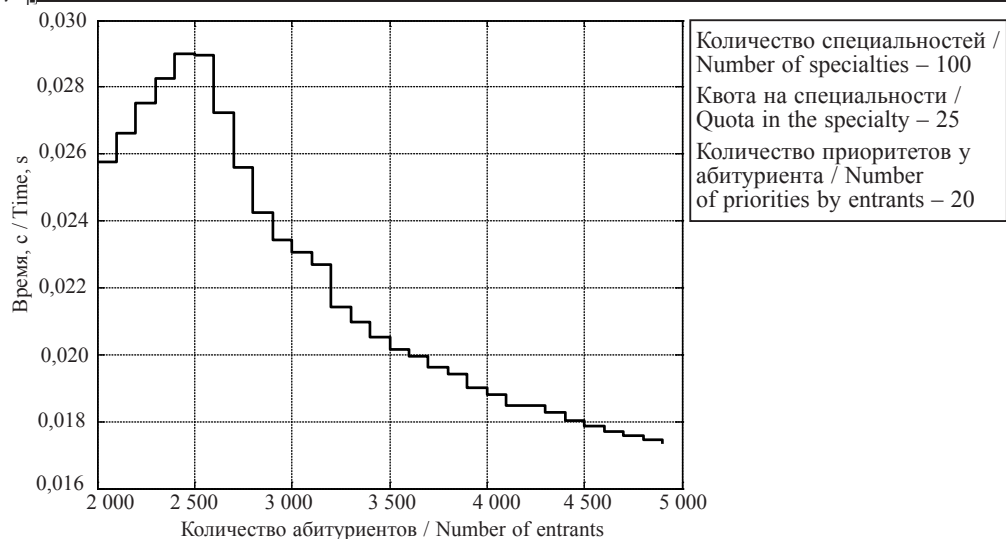
довательно, абитуриенты чаще делают предложения разным специальностям. На рис. 8 показано, что среднее время исполнения увеличивается при увеличении количества специальностей из-за того, что больше специальностей делают итерации предложения.

4) Среднее время исполнения в зависимости от изменения количества абитуриентов (рис. 9–10).



Р и с. 9. Среднее время исполнения при предлагающей стороне абитуриентов

F i g. 9. The average time of action when enrolees is offering



Р и с. 10. Среднее время исполнения при предлагающей стороне специальностей

F i g. 10. The average time of action when offer the specialty

На рис. 9 видно, что среднее время исполнения увеличивается по мере увеличения количества абитуриентов, поскольку количество итераций предложения абитуриентов также увеличивается. Медленный рост временной характеристики обусловлен тем, что на этом отрезке меньше абитуриентов получают «отказ» от специальности, а в дальнейшем – чаще, что увеличивает количество итераций предложения абитуриентов. На рис. 10 показано, что при росте количества абитуриентов сначала среднее время исполнения увеличивается, а затем уменьшается. Увеличение связано с тем, абитуриенты чаще получают более выгодные предложения специальностей, отказывая имеющимся, что увеличивает количество итераций предложения специальностями. Уменьшение – с тем, что при дальнейшем увеличении количества абитуриентов у специальностей расширяется «выбор» среди них, из-за чего абитуриенты реже отказывают имеющимся предложениям.

Обсуждение и заключения

В результате работы рассмотренных вариантов алгоритма обеспечивается стабильное зачисление абитуриентов

в высшие учебные заведения. В алгоритме с иницилирующей стороной «абитуриент» можно производить размещения непосредственно после подачи абитуриентом документов (при изменении или удалении данных придется запустить алгоритм с начала). Для снижения нагрузки на сервер, а также для поддержания актуальной информации о размещении можно запустить алгоритм в отдельном потоке. Данные операции актуальны также для алгоритма с иницилирующей стороной «специальность».

Информацию об абитуриентах и размещениях можно хранить в таблицах, чтобы в случае необходимости дублируя данные остались неизменными.

Поскольку при подаче заявки указывается тип поступления, то при реализации алгоритма можно создавать для каждой специальности несколько таблиц, относящихся к каждому типу поступления.

У приемной комиссии есть множество критериев оценивания одного абитуриента относительно другого, кроме набранных баллов, поэтому рекомендуется использовать функцию, приводящую результат сравнения в соответствие с критериями приема.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Задача об устойчивом паросочетании [Электронный ресурс]. URL: http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Задача_об_устойчивом_паросочетании (дата обращения: 25.02.2016).
2. Теория и практика двусторонних рынков / Е. Железова [и др.] // Вопросы экономики. 2013. № 1. С. 4–26
3. **Gale D., Shapley L. S.** College Admissions and the Stability of Marriage // American Mathematics Monthly. 1962. Vol. 69. P 9–15. DOI: [dx.doi.org/10.2307/2312726](https://doi.org/10.2307/2312726)
4. The stable marriage problem and school choice [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ams.org/samplings/feature-column/fc-2015-03> (дата обращения: 07.02.2016).
5. **McVitie D. G., Wilson L. B.** Stable marriage assignment for unequal sets // BIT 10. 1970. P. 295–309. DOI: [dx.doi.org/10.1007/BF01934199](https://doi.org/10.1007/BF01934199)
6. **Roth A., Sotomayor M.** Two-sided matching: a study in game-theoretic modeling and analysis : econometric society monographs. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. Vol. 18. DOI: [dx.doi.org/10.1017/CCOL052139015X](https://doi.org/10.1017/CCOL052139015X)
7. **Knuth D. E.** Stable marriage and its relation to other combinatorial problems: an introduction to mathematical analysis of algorithms. Providence : AMS, 1996.
8. **Arrow K. J.** Social choice and individual values : 2nd ed. New York : Wiley, 1963.
9. **Лернер Э. Ю., Яковлева О. С.** Устойчивые паросочетания и задача о назначении: исследование по прикладной математике. Казань : КМО, 2008. Вып. 26. С. 51–55.
10. **Robert W. I., David F. M.** The stable roommates problem with ties // Journal of Algorithms. 2002. Vol. 43, No. 1. P. 85–105. DOI: [10.1006/jagm.2002.1219](https://doi.org/10.1006/jagm.2002.1219)
11. **Robert W. I.** An efficient algorithm for the «stable roommates» problem // Journal of Algorithms. 1985. Vol. 6, No. 4. P. 577–595. DOI: [10.1016/0196-6774\(85\)90033-1](https://doi.org/10.1016/0196-6774(85)90033-1)
12. **Poundstone W.** Prisoner's dilemma: John von Neumann, game theory and the puzzle of the bomb. Doubleday, New York : 1992.
13. **Isaac R.** Pleasures of Probability. New York : Springer, 1995. P. 24–27.
14. **Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Семина Е. А.** Теория игр : учеб. пособие для ун-тов. М. : Высш. шк. ; Книж. дом «Университет», 1998. С. 304.
15. **Мазалов В. В.** Математическая теория игр и приложения. СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. 446 с.

Поступила 19.07.2016; принята к публикации 06.09.2016; опубликована онлайн 30.12.2016

Об авторах:

Рыскин Константин Эдуардович, магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7464-0607>, valiant1994@mail.ru

Аль Аскари Моханнад Абдулсалам Юнус, аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8501-9541>, mohannadsalam2000@yahoo.com

Федосин Сергей Алексеевич, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3481-4101>, fedosinsa@mrsu.ru

Вклад соавторов: К. Э. Рыскин – реализация алгоритма, разработка алгоритма, анализ алгоритма; М. А. Аль Аскари – анализ предметной области, работа с литературой, анализ алгоритма; С. А. Федосин – постановка задачи.

REFERENCES

1. Zadacha ob ustoychivom parosochetanii [The stable marriage problem]. Available from: http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Задача_об_устойчивом_паросочетании (In Russ.)
2. Zhelezova Ye, Izmalkov S, Sonin K, Khovanskaya I. Teoriya i praktika dvustoronnikh rynkov (Nobelevsкая premiya po ekonomike 2012 g.) [Two-sided markets: Theory and applications (Nobel Memorial Prize in Economics 2012)] // *Voprosy Ekonomiki* = Economics Questions. 2013; 1:4-26. Available from: <http://www.nes.ru/dataupload/files/professors/sonin1-13.pdf> (In Russ.)
3. Gale D, Shapley LS. College admissions and the stability of marriage. *American Mathematics Monthly*. 1962; 69:9-15. DOI: [dx.doi.org/10.2307/2312726](https://doi.org/10.2307/2312726)
4. The stable marriage problem and school choice [Electronic resource]. Available from: <http://www.ams.org/samplings/feature-column/fc-2015-03> (accessed 07.02.2016).
5. McVitie DG, Wilson LB. Stable marriage assignment for unequal sets. *BIT*. 1970; 10:295-309. DOI: [dx.doi.org/10.1007/BF01934199](https://doi.org/10.1007/BF01934199)
6. Roth A, Sotomayor M. Two-sided matching: a study in game-theoretic modeling and analysis. *Econometric Society Monographs*. Vol. 18. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. DOI: [dx.doi.org/10.1017/CCOL052139015X](https://doi.org/10.1017/CCOL052139015X)
7. Knuth DE. Stable marriage and its relation to other combinatorial problems: an introduction to mathematical analysis of algorithms. Providence: AMS; 1996.
8. Arrow KJ. Social choice and individual values. 2nd ed. New York: Wiley; 1963.
9. Lerner EYu, Yakovleva OS. Ustoychivyye parosochetaniya i zadacha o naznachenii. Issledovaniya po prikladnoy matematike [Stable marriage and the problem of the appointment. Research on Applied Mathematics]. Kazan: KMO; 2008; 26:51-55. (In Russ.)
10. Irving RW, Manlov DF. The stable roommates problem with ties. *Journal of Algorithms*. 2002; 1(43):85-105. DOI: [10.1006/jagm.2002.1219](https://doi.org/10.1006/jagm.2002.1219)
11. Irving RW. An efficient algorithm for the «stable roommates» problem. *Journal of Algorithms*. 1985. 6(4):577-595. DOI: [10.1016/0196-6774\(85\)90033-1](https://doi.org/10.1016/0196-6774(85)90033-1)
12. Poundstone W. Prisoner's dilemma: John von Neumann, game theory and the puzzle of the bomb. Doubleday, 1992.
13. Isaac R. Pleasures of Probability. New York: Springer; 1995.
14. Petrosyan LA, Zenkevich NA, Semina YeA. Teoriya igr: uchebnoye posobiye dlya universitetov [Game Theory: Textbook for universities]. Moscow: Vysshaya shkola; 1998. (In Russ.)
15. Mazalov VV. Matematicheskaya teoriya igr i prilozheniya [The mathematical theory of games and applications]. Moscow: Lan Publ.; 2010. (In Russ.)

Submitted 19.07.2016; revised 06.09.2016; published online 30.12.2016

About the authors:

Konstantin E. Ryskin, undergraduate student, Chair of Information and Communication Technologies and Systems, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7464-0607>, valiant1994@mail.ru

Mokhannad Abdulsalam Yunus Al Askari, postgraduate student, Chair of Automated Information Processing Systems and Management, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8501-9541>, mohannadsalam2000@yahoo.com

Sergey A. Fedosin, head of Chair of Automated Information Processing Systems and Management, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), professor, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3481-4101>, fedosinsa@mrsu.ru

The contribution of the authors: K. E. Ryskin developed, analyzed and implemented the algorithm, M. Al Askari analyzed the subject area, studied scholar literature and the algorithm, S. A. Fedosin developed a theoretical framework.