

УДК 004.02

DOI:

И.А. Кочеткова, В.Г. Рубанов

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Предложена математическая модель принятия управляющего медицинского решения на основе теории нечетких множеств и нечеткого вывода, которая позволит ускорить процесс постановки

диагноза.

**Ключевые слова:** нечеткие множества, нечеткий вывод, диагностика, распознавание образов, принятие решений.

I.A. Kochetkova, V.G. Rubanov

## DEVELOPMENT OF DECISION-MAKING SIMULATOR BASED ON THEORY FUZZY SETS AND FUZZY CONCLUSION

The problem solutions in human state assessment on the basis of clinical data are connected, as a rule, with considerable difficulties causing errors at diagnosing. This paper reports the possibility to decrease the influence of different disturbing factors upon a problem solution quality on cardiology on the basis of the decision-making simulator formed on the basis of the theory of fuzzy sets and fuzzy conclusion. In such a way, in case of impossibility to define a disease range to which belongs a point characterizing a patient

state on condition that data of disease range cross themselves, the consideration of the possibility to reduce a level of ambiguity in identification on the basis of the theory of fuzzy sets allowing the assessment quantitatively a value of belonging degree of a two-dimensional image current value of a patient state to a corresponding image is offered.

**Key words:** fuzzy sets, fuzzy conclusion, diagnostics, pattern recognition, decision-making.

К наиболее сложным задачам медицины относятся постановка диагноза и назначение курса лечения [1; 2]. Традиционно врачи решали эти задачи, используя собственные знания, опыт и интуицию. Сейчас все чаще применяют способы, в основе которых лежат высокие технологии, позволяющие обрабатывать большие потоки информации [3].

В настоящее время медицинские информационные технологии применяются по трем направлениям [4]:

- использование аппаратных средств для наблюдения и лечения пациента;
- ведение документооборота и финансово-бухгалтерской отчетности;
- диагностика заболеваний, прогнозирование состояния организма, назначение курса лечения с помощью экспертных систем и систем принятия решений.

Именно третье направление медицинских систем является одним из важнейших, так как ориентировано на быстрое и своевременное получение точной ин-

формации о состоянии пациента. Это особенно значимо, когда лимит времени для принятия жизненно важного врачебного заключения ограничен.

На практике, как было отмечено в [5; 6], не всегда процедура переноса начала координат  $N$ -мерного пространства позволяет удовлетворительно решить задачу однозначного распознавания состояния пациента [7]. В связи с этим была предложена возможность уменьшения уровня неоднозначности распознавания двухмерного образа состояния  $A_{2B_1B_2}(t)$  (при условии что многомерный образ состояния  $A_{NB_iB_j}(t)$  находится в области пересечения двух и более многомерных областей заболеваний  $B_i$ ) путем применения теории нечетких множеств [8; 9], которая позволяет количественно оценивать значение степени принадлежности текущего значения двухмерного образа состояния пациента соответствующему образу  $B_{2i}$  в области их пересечения друг с другом. Такой подход предусматривает проведение определен-

ной совокупности процедур. При этом виртуальные модели нозологических форм болезней  $B_i$  и виртуальный образ состояния пациента  $A_{NB,B_j}(t)$  рассматриваются в многомерном признаковом пространстве, где  $A_{NB,B_j}(t)$  - мгновенное значение  $A_N(t)$ , находящееся на пересечении двух и более областей заболеваний  $B_i$ .

В основу построения указанных процедур положена математическая теория нечетких множеств, предложенная в работах А. Заде [9], которая позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими данными и делать нечеткие выводы. Базовыми понятиями в теории нечетких множеств и нечеткой логики являются понятия функции принадлежности и лингвистической переменной.

Методику нечеткого вывода о состоянии пациента можно представить в виде нескольких последовательно выполняемых этапов.

*Этап 1. Формирование функций принадлежности.* На первом этапе определяют и строят функции принадлежности лингвистических переменных симптомов, характеризующих многомерный образ состояния  $A_{NB,B_j}(t)$ . В связи с этим все симптомы, определенные в  $N$ -мерном пространстве, задают на нечетком множестве.

В качестве входных переменных математической модели нечеткого вывода выбраны следующие три показателя состояния пациента: локализация боли  $L$ , систолическое артериальное давление  $P$ , возраст  $T$ .

В качестве методики построения функций принадлежности выбран метод с использованием статистических данных. Он предусматривает наличие списка симптомов с их количественными показателями частоты встречи для конкретных заболеваний. Шкалы симптомов разбиваются на фиксированные интервалы (например, шкала симптома «Возраст» разбивается на интервалы 0–5, 5–10 ... 35–40, 40–45 ... 80–85 ...).

Наблюдая за  $n$  объектами (пациентами) в течение некоторого времени, устанавливают, что по некоторому интервалу  $i$  ( $i = 1..r$ ) симптома  $j$  ( $j = 1..r$ )  $k$  раз зафиксирован диагноз «Класс 1» (имеет место следующий набор диагнозов: «Класс 1», «Класс 2», «Класс 3»). По итогам наблюдения эксперт фиксирует частоту попадания определенного интервала симптома в заболевание:

$$p_i = \frac{k_i}{n}. \quad (1)$$

На основании этих статистических данных строится гистограмма (рис. 1).

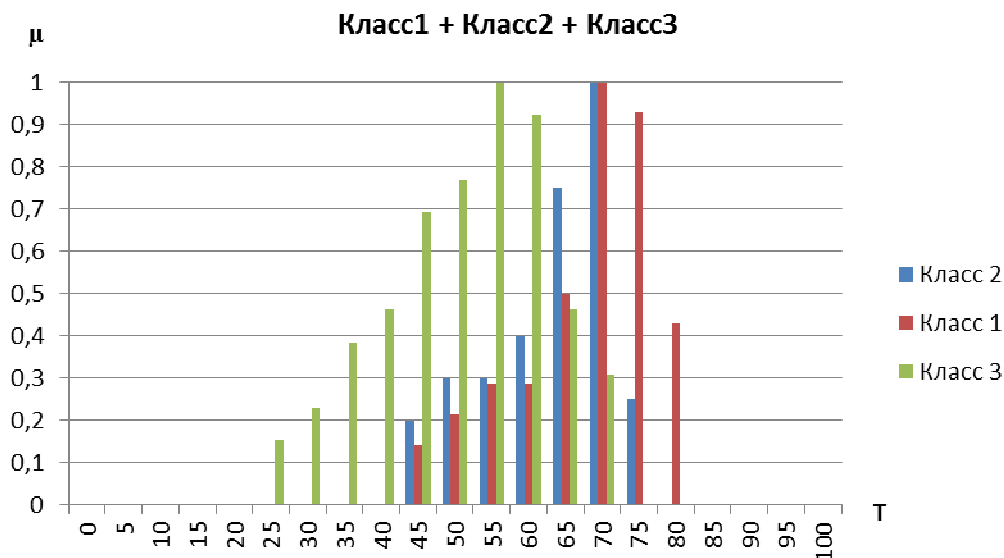


Рис. 1. Гистограмма статистических данных по симптому «Возраст»

Матрица оценки показаний имеет вид, представленный в табл. 1.

Таблица 1

Количество попаданий значения симптома в определенный интервал в заболеваниях (матрица оценки показаний)

Возраст	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85
Частота - класс 1	0	0	2	3	4	4	7	14	13	6
Частота - класс 2	0	0	4	6	6	8	15	20	5	0
Частота - класс 3	2	3	5	6	9	10	13	12	6	4

На универсальной шкале [0,1] размещены значения интервалов по каждому симптому. Тогда степень принадлежности некоторого значения вычисляется как отношение числа экспериментов, в которых оно встречалось в определенном интервале шкалы, к максимальному для этого значения числу экспериментов по всем интервалам:

$$c_{i\max} = \max c_{ij}, i = 1..3, j = 1..10, \quad (2)$$

$$\mu_i = \frac{c_{ij}}{c_{i\max}}, i = 1..3, j = 1..10, \quad (3)$$

где  $c_{ij}$  – элементы матрицы оценки показаний.

Значения функций принадлежности  $\mu_{ij}$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица значений функций принадлежности по симптому «Возраст»

Возраст	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85
$\mu_{1T}$	0	0	0,14	0,21	0,28	0,28	0,5	1	0,92	0,42
$\mu_{2T}$	0	0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,75	1	0,25	0
$\mu_{3T}$	0,15	0,23	0,38	0,46	0,69	0,76	1	0,92	0,46	0,30

По найденным значениям  $\mu_{ij}$  строятся функции принадлежности (рис. 2).

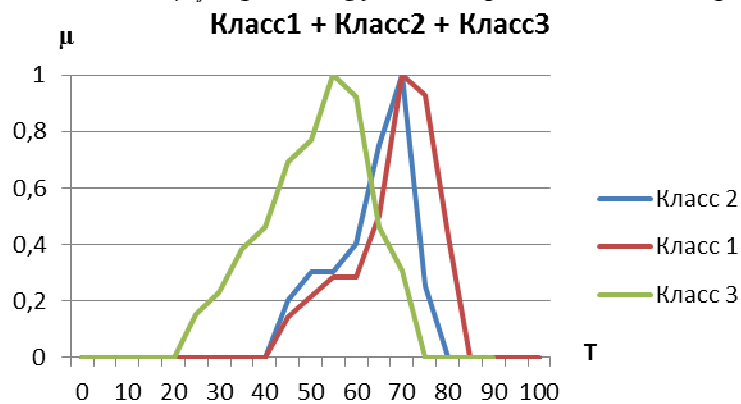


Рис. 2. Функции принадлежности по симптому «Возраст»

По количеству попаданий значения симптома «Систолическое артериальное давление» (САД) в определенный интервал в заболевании (табл. 3) определяются

значения соответствующих функций принадлежности (табл. 4) и строятся сами функции принадлежности (рис. 3).

Таблица 3

Количество попаданий значения симптома в определенный интервал в заболеваниях (матрица оценки показаний)

Артериальная гипертония (САД)	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180	180-190	190-200
Частота - класс 1	0	1	50	2	0	0	0	0	0	0
Частота - класс 2	0	0	0	0	21	15	12	10	5	1
Частота - класс 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 4

Матрица значений функций принадлежности по симптому «САД»

Артериальная гипертония (САД)	100-110	110-120	120-130	130-140	140-150	150-160	160-170	170-180	180-190	190-200
$\mu_{1P}$	0	0,02	1	0,04	0	0	0	0	0	0
$\mu_{2P}$	0	0	0	0	1	0,71	0,57	0,48	0,24	0,05
$\mu_{3P}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

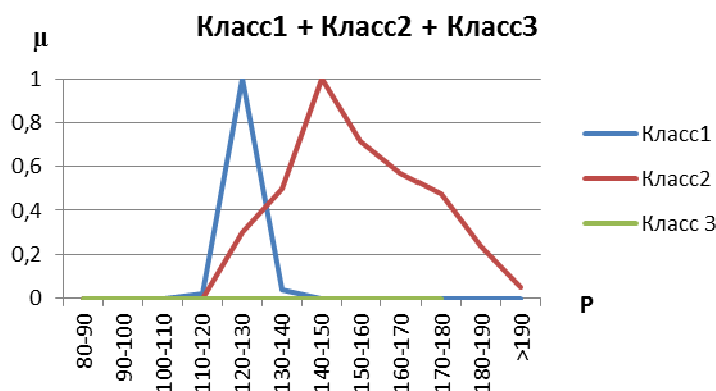


Рис. 3. Функции принадлежности по симптому «САД»

По количеству попаданий значения симптома «Локализация боли» в определенный интервал в заболевании (табл. 5)

определяются значения функций принадлежности (табл. 6) и строятся функции принадлежности (рис. 4).

Таблица 5

Количество попаданий значения симптома в определенный интервал в заболеваниях (матрица оценки показаний)

Локализация боли	За грудной	В животе	В горле	В руке	В лопатке	В нижней челюсти	В других частях тела	За груд., в руке, лопатке	За грудной, в руке
Частота - класс 1	0	17	20	3	0	0	0	0	0
Частота - класс 2	0	0	0	0	0	0	32	9	0
Частота - класс 3	0	0	0	0	0	0	56	0	0

Таблица 6

Матрица значений функций принадлежности по симптому «Локализация боли»

Локализация боли	За грудной	В животе	В горле	В руке	В лопатке	В нижней челюсти	В других частях тела	За груд., в руке, лопатке	За грудной, в руке
$\mu_{1L}$	0	0,85	1	0,15	0	0	0	0	0
$\mu_{2L}$	0	0	0	0	0	0	1	0,28	0
$\mu_{3L}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0

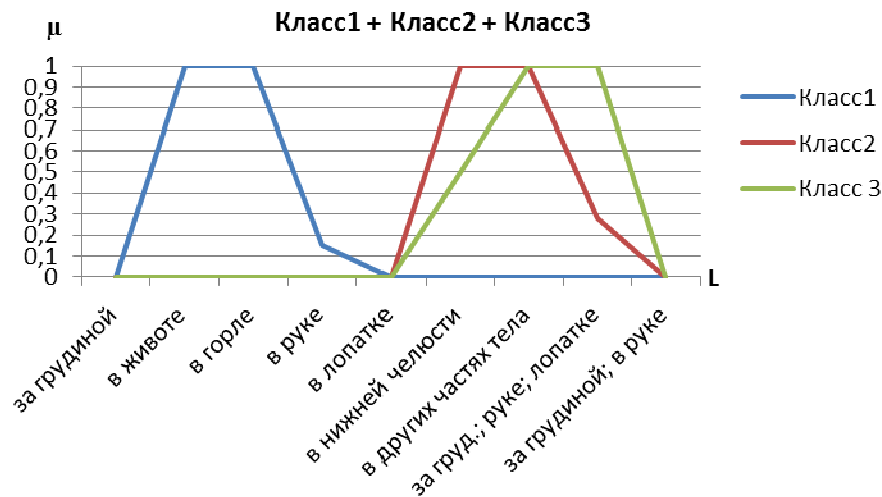


Рис. 4. Функции принадлежности по симптому «Локализация боли»

*Этап 2. Нечеткая композиция.* Этап нечеткой композиции состоит из двух операций:

- операция логической конъюнкции;
- операция логической дизъюнкции.

Первая операция используется для того, чтобы определить степень принадлежности точки  $A_{NB_i B_j}(t)$ , характеризующей состояние пациента, к  $i$ -й области заболевания ( $\mu_{imin}$ ). При этом необходимо выполнить операцию логической конъюнкции по полученным значениям относительно каждой области заболевания в соответствии со следующим соотношением:

$$\mu B_i = \min\{\mu_{iT}, \mu_{iP}, \mu_{iL}\}. \quad (4)$$

Выполнив операцию логической конъюнкции для всех значений  $i = 1, 2, 3$  выбранных входных переменных математической модели нечеткого вывода в соответствии с (4), получим следующую совокупность количественных оценок  $\mu_{imin}$ :

$$\begin{aligned} \mu_{1min} &= \min\{\mu_{1T}, \mu_{1P}, \mu_{1L}\}, \\ \mu_{2min} &= \min\{\mu_{2T}, \mu_{2P}, \mu_{2L}\}, \\ \mu_{3min} &= \min\{\mu_{3T}, \mu_{3P}, \mu_{3L}\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Вторая операция, а именно операция логической дизъюнкции, используется для определения максимального значения степени принадлежности образа состояния  $A_{NB_i B_j}(t)$  к соответствующей области заболевания  $B_i$ , что осуществляется путем сопоставительного анализа полученных совокупностей оценок (5). Тогда для всех значений  $i = 1, 2, 3$  выбранных входных переменных математической модели нечеткого вывода получим

$$\mu_{max} = \max\{\mu_{1min}, \mu_{2min}, \mu_{3min}\}. \quad (6)$$

*Этап 3. Разработка продукционной модели базы знаний в виде нечетких правил.* Нечеткая база знаний используется для взаимодействия между входными и выходными параметрами и осуществления поддержки принятия решений. Нечеткая база знаний представляет собой конечное множество нечетких правил (НП). Применительно к иллюстрируемым классам диагнозов и на основе всех значений  $i = 1, 2, 3$  выбранных входных переменных математической модели нечеткого вывода можно сформировать следующие продукционные правила:

- НП 1: если  $\mu_{1min} = \mu_{max}$ , то «Класс 1»;  
 НП 2: если  $\mu_{2min} = \mu_{max}$ , то «Класс 2»;  
 НП 3: если  $\mu_{3min} = \mu_{max}$ , то «Класс 3»;  
 НП 4: если  $\mu_{1min} = \mu_{2min}$ , или  $\mu_{1min} = \mu_{3min}$ , или  $\mu_{2min} = \mu_{3min}$ , то «Диагноз не определен».

Таким образом, решение задачи базируется на использовании теории нечетких множеств [см. формулы (1-7)], которая позволяет осуществить количественную оценку степени принадлежности текущего значения каждого из параметров состояния к каждому из заболеваний в соответствующей точке, принадлежащей области пересечения  $B_{2i}$ . Приведенные продукционные правила формируются на основе выбранных входных переменных математической модели нечеткого вывода, но являются универсальными и могут быть расширены в зависимости от наличия большего количества входных переменных. Кроме того, появляется возможность реализовать процесс автоматизированной

оценки состояния ССС и прогнозирования

его развития [10].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, А.П. Основы семиотики заболеваний внутренних органов: атлас / А.П. Баранов, Г.Е. Ройтберг, Ю.П. Гапоненков, А.В. Струтынский. - М.: МЕДпресс-информ, 2013. - 25 с.
2. Ефремова, О.А. Диагностика и фармакотерапия хронической сердечной недостаточности: учеб. пособие / О.А. Ефремова, Л.А. Камышникова, Е.П. Погурельская, Э.А. Щербань. - 2-е изд. - Белгород: ИПК НИУ «БелГУ», 2012. - 172 с.
3. Мигущенко, Р.П. Исследование влияния ограниченности априорной информации на вид и размер достоверности диагностики / Р.П. Мигущенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2014. - № 6. - С. 201-204.
4. Ефремова, О.А. Редкие болезни, симптомы и синдромы в кардиологической практике: учеб. пособие / О.А. Ефремова, С.И. Логвиненко, Е.П. Погурельская, М.А. Руднева. - Белгород: ИПК НИУ «БелГУ», 2011. - 132 с.
5. Пат. 2496409 РФ, МПК А61В5/00. Способ формирования многомерного образа состояния сердечно-сосудистой системы и его визуализации / Кочеткова И.А., Довгаль В.М., Никитин В.М., Липунова Е.А.; заявитель и патентообладатель Белгород. гос. нац.-исслед. ун-т (RU). - № 2011116859; заявл. 27.04.11; опубл. 10.11.12.
6. Кочеткова, И.А. Алгоритм диагностики состояния пациента на основе распознавания его виртуального образа / И.А. Кочеткова, В.М. Никитин, Е.А. Липунова, В.М. Довгаль // Информационные системы и технологии. - 2012. - № 5 (73). - С. 67-73.
7. Попов, А.В. Использование метода отображения многомерных объектов для распознавания протяженно распределенных образов с целью выработки эталона по прогнозированию качества подготовки специалиста дерматовенеролога / А.В. Попов, А.А. Чаплыгин, Т.В. Пушкина, В.Е. Попов // Человек и его здоровье. - 2005. - № 4. - С. 67-75.
8. Рубанов, В.Г. Интеллектуальные системы автоматического управления. Нечеткое управление в технических системах: учеб. пособие / В.Г. Рубанов, А.Г. Филатов. - 2-е изд., стер. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. - 170 с.
9. Zadeh, L.A. Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes / L.A. Zadeh, F. King-Sun, K. Tanaka, M. Shimura. - London: United Kingdom Edition published by academic press, INC. (London) LTD, 1975. - 496 p.
10. Лазебная, Е.А. Порядок проведения предварительной обработки данных, составляющих прогнозный фон при прогнозировании с помощью временных рядов / Е.А. Лазебная // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2016. - № 2. - С. 128-132.
1. Baranov, A.P. *Fundamentals of Internal Diseases Semiotics: atlas* / A.P. Baranov, G.E. Reutberg, Yu.P. Gaponenkov, A.V. Strutytsky. - M.: MEDpress-inform, 2013. - pp. 25.
2. Yefremova, O.A. *Diagnostics and Pharmacotherapy of Chronic Cardiac Insufficiency: manual* / O.A. Yefremova, L.A. Kamyshnikova, E.P. Pogurelskaya, E.A. Shcherban. - 2-d Edition - Belgorod: IPK SRU "BelSU", 2012. - pp. 172.
3. Migushchenko, R.P. Investigation of a priori information limitation impact upon kind and size of diagnostics reliability / R.P. Migushchenko // *Bulletin of Shukhov State Technological University of Belgorod*. - 2014. - № 6. - pp. 201-204.
4. Yefremova, O.A. *Rare Diseases, Symptoms and Syndromes in Cardiology: manual* / O.A. Yefremova, S.I. Logvinenko, E.P. Pogurelskaya, M.A. Rudneva. - Belgorod: IPK NIU "BelSU", 2011. - pp. 132.
5. Pat. 2496409 the RF, IPC A61V5/00. *Method of Multi-dimensional Image Formation of Cardiovascular System State and Its Visualization* / Kochetkova I.A., Dovgal V.M., Nikitin V.M., Lipunova E.A.; applicant and patent holder Belgorod National Research University (RU). - № 2011116859; applied 27.04.11; published. 10.11.12.
6. Kochetkova, I.A. Algorithms of patient's state diagnostics based on patient's virtual image / I.A. Kochetkova, V.M. Nikitin, E.A. Lipunova, V.M. Dovgal // *Information Systems and Technologies*. - 2012. - № 5 (73). - pp. 67-73.
7. Popov, A.V. Use of multidimensional object representation method for identification of extended distributed images for elaboration of standard on prediction of dermatologist-venereologist training quality / A.V. Popov, A.A. Chaplygin, T.V. Pushkina, V.E. Popov // *Man and Man's Health*. - 2005. - № 4. - pp. 67-75.
8. Rubanov, V.G. *Intelligent Systems of Automatic Control. Fuzzy Control in Engineering Systems: textbook* / V.G. Rubanov, A.G. Filatov. - 2-d Edition, stereotype. - Belgorod: Publishing House of BSTU, 2010. - pp. 170.
9. Zadeh, L.A. Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes / L.A. Zadeh, F. King-Sun, K. Tanaka, M. Shimura. - London: United Kingdom Edition published by academic press, INC. (London) LTD, 1975. - 496 p.
10. Lazebnaya, E.A. Procedure in carrying out of preliminary processing data making forecasting background at prognostication using temporal rows / E.A. Lazebnaya // *Bulletin of Shukhov STU*. - 2016. - № 2. - pp. 128-132.

*Статья поступила в редколлегию 23.12.16.  
Рецензент: д.т.н., профессор БГТУ им. В.Г.Шухова  
Шантала В.Г.*

**Сведения об авторах:**

**Кочеткова Инесса Андреевна**, к.т.н., доцент кафедры ИТ Белгородского государственного технологического университета, e-mail: [IneSuan@gmail.com](mailto:IneSuan@gmail.com).

**Kochetkova Inessa Andreevna**, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. of IT, Belgorod State Technological University, e-mail: [IneSuan@gmail.com](mailto:IneSuan@gmail.com).

**Рубанов Василий Григорьевич**, д.т.н., профессор кафедры ТК Белгородского государственного технологического университета, e-mail: [tk.bstu.ru@gmail.com](mailto:tk.bstu.ru@gmail.com).

**Rubanov Vasily Grigorievich**, D. Eng., Prof. of the Dep. of TK, Belgorod State Technological University, e-mail: [tk.bstu.ru@gmail.com](mailto:tk.bstu.ru@gmail.com).