

Исследование областей, задающих множества разрешенных конфигураций при нахождении механизма мобильного манипулятора в близости от запретных зон

Ф.Н. Притыкин, Д.И. Нефедов, А.В. Рингельман

Омский государственный технический университет, Омск

Аннотация: Исследованы области пространства конфигураций, задающих совокупность достижимых точек рабочей зоны манипулятора с учетом положения запретных зон. Для аналитического задания областей использована теория множеств и совокупность поверхностей второго порядка.

Ключевые слова: синтез движений роботов, конфигурационное пространство, запретные зоны, интеллектуальные системы управления роботами.

Интеллектуальное управления робототехническими системами позволяет обеспечить их автономное функционирование в сложно организованных средах [1-3]. Одной из задач при этом является сокращение времени расчета, связанного с определением значения вектора приращений обобщенных координат на каждом шаге расчетов. Указанный вектор приращений вычисляют с учетом обеспечения заданного удаления исполнительного механизма манипулятора от запретных зон [4-6]. В работах [7,8] разработаны алгоритмы построения движений механизмов роботов основанные на использовании анализа точек конфигурационного пространства, задающих разрешенные конфигурации. Исследованию области Λ конфигурационного пространства Q задающей множество разрешенных конфигураций для исполнительного механизма манипулятора мобильного робота «Варан» посвящена работа [9]. Запретная зона при этом была задана горизонтальной плоскостью, располагающейся сверху механизма манипулятора мобильного робота (для случая, когда движение осуществляется внутри туннеля). Параметры, задающие форму одной из

областей Ω_5 (форму одного из эллиптических цилиндров, который используется для определения области Λ) для этого случая определялись как функции от параметра высоты туннеля, в котором осуществляет движение мобильный робот [9]. В качестве указанных функций были использованы полиномы Лагранжа. Исследуем форму области Λ , когда запретная зона P ограничивается двумя плоскостями Σ и Δ положения которых определяются параметрами x_{op} и z_{op} (см. рис. 1а). Длины звеньев механизма манипулятора равны следующим значениям $O_1O_2 = 900$ мм, $O_2O_3 = 700$ мм и $O_3O_4 = 500$ мм. Минимальные и максимальные значения обобщенных координат, соответственно, равны $q_i^{min}(-30^\circ, -120^\circ, -120^\circ)$ и $q_i^{max}(120^\circ, 120^\circ, 120^\circ)$, интервал сетки, задающей исследуемые точки в пространстве Q , был принят равным $\Delta q_i = 15^\circ$. На рисунке 1б изображено множество разрешенных конфигураций при наличии запретной зоны P при значении параметров $x_{op} = 500$ мм и $z_{op} = 500$ мм.

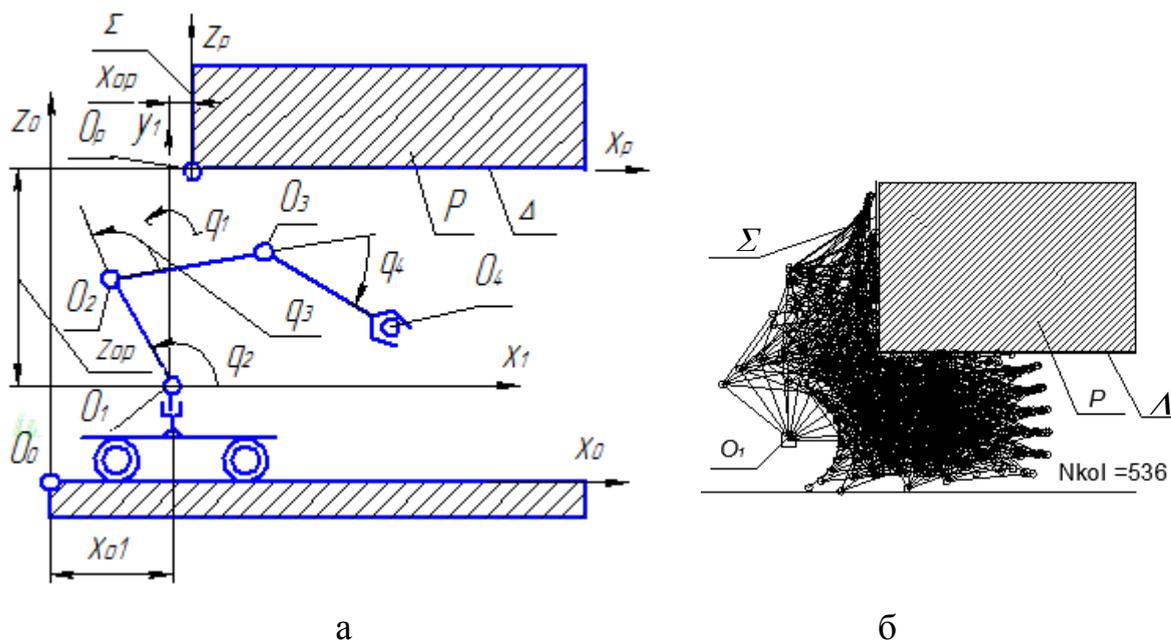


Рис. 1 – Механизм манипулятора мобильного робота «Варан»: а – взаимное положение манипулятора мобильного робота и запретной зоны P , б – множество разрешенных конфигураций

Параметр N_{kol} на рисунке 1б определяет количество указанных конфигураций. В таблице приведены сечения области Λ при $q_1 = 0$ и различном расположении плоскостей Δ и Σ заданных значениями $x_{op} = 600\text{мм}$, $z_{op} = 800\text{мм}$ и $x_{op} = 1200\text{мм}$, $z_{op} = 800\text{мм}$. Сечения построены в системах координат $O_q q_3 q_4$ при заданных фиксированных значениях обобщенной координаты q_2 ($-120^\circ, -105^\circ, \dots, 120^\circ$).

Таблица
 Изображение сечений области Λ при различных положениях плоскостей Δ и Σ

	Изображения сечений при различных значениях q_2 (град)					
$x_{op} = 600\text{мм}, z_{op} = 800\text{мм};$ $Q_i^{\Omega 5-3} (0.0006, -0.081, 2.6, -13.14);$ $Q_i^{\Omega 5-4} (0.0044, -0.0016, -0.069, 1.41);$ $a^{\Omega 5} (-0.005, -0.47, 64.1, -951.7);$ $b^{\Omega 5} (0.0001, 0.002, -0.763, 22.47).$	$q_2 = -120^\circ$	$q_2 = -105^\circ$	$q_2 = -90^\circ$	$q_2 = -75^\circ$	$q_2 = -60^\circ$	
	$q_2 = -30^\circ$	$q_2 = 0$	$q_2 = 15^\circ$	$q_2 = 30^\circ$	$q_2 = 60^\circ$	
	$x_{op} = 1200\text{мм}, z_{op} = 800\text{мм};$ $Q_i^{\Omega 5-3} (-0.01, 1.179, -40.83, 403.9);$ $Q_i^{\Omega 5-4} ((-0.0001, 0.0066, 0.074, -1.5);$ $a^{\Omega 5} (-0.0002, 0.028, -0.64, 38.8);$ $b^{\Omega 5} (-0.0012, 0.149, -5.35, 58.9).$	$q_2 = -120^\circ$	$q_2 = -105^\circ$	$q_2 = -90^\circ$	$q_2 = -75^\circ$	$q_2 = -60^\circ$
		$q_2 = -30^\circ$	$q_2 = 0$	$q_2 = 15^\circ$	$q_2 = 30^\circ$	$q_2 = 60^\circ$

Анализ сечений области Λ показывает, что при задании запретной зоны P двумя плоскостями Δ и Σ (см. рис. 1а, рис. 2) запрещенные конфигурации в сечениях области Λ задаются точками, располагающимися внутри областей по форме близких к форме областей заданных эллипсами. Начальные положения центров эллипсов и значения длин большой и малой полуосей при этом изменяются при изменении x_{op} , z_{op} и q_2 . На основе экспериментальных исследований вычислены координаты указанных центров эллипсов, заданных точками $O_{эл}$ определяемых координатами $Q_o^{\Omega 5-3}$ и $Q_o^{\Omega 5-4}$ (см. рис. 2). Верхние индексы $\Omega 5-3$ и $\Omega 5-4$ определяют принадлежность параметров области $\Omega 5$. Начальные положения центров эллипсов задают функции $Q_o^{\Omega 5-3} = f_1(x_{op}, z_{op})$, $Q_o^{\Omega 5-4} = f_2(x_{op}, z_{op})$, которые определены в результате построения множеств сечений области Λ . Графики этих функций представлены на рис. 3а,б.

Соответственно начальные численные значения большой и малой осей эллипсов определяют функции $a_o^{\Omega 5} = f_3(x_{op}, z_{op})$ и $b_o^{\Omega 5} = f_4(x_{op}, z_{op})$. Угол наклона большой оси эллипса $\varphi_{\Omega 5}$ по отношению к оси $O_q q_3$ (эллипсы находятся в плоскостях параллельных плоскости $O_q q_3 q_4$ конфигурационного пространства) для различных значений x_{op} , z_{op} и q_2 не изменяется и равен $\varphi_{\Omega 5} \approx 110^\circ$ (см. рис. 2). Указанные зависимости представлены на рис.3в-г. Как видно из анализа рисунков представленных в таблице размеры большой $a^{\Omega 5}$ и малой $b^{\Omega 5}$ осей эллипсов в сечениях области Λ зависят от обобщенной координаты q_2 и изменяются не линейно.

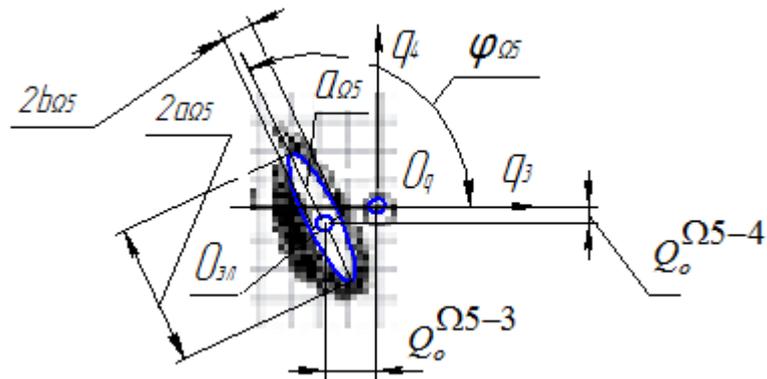


Рис. 2 – Параметры формы и положения эллипсов располагающихся в сечениях области L

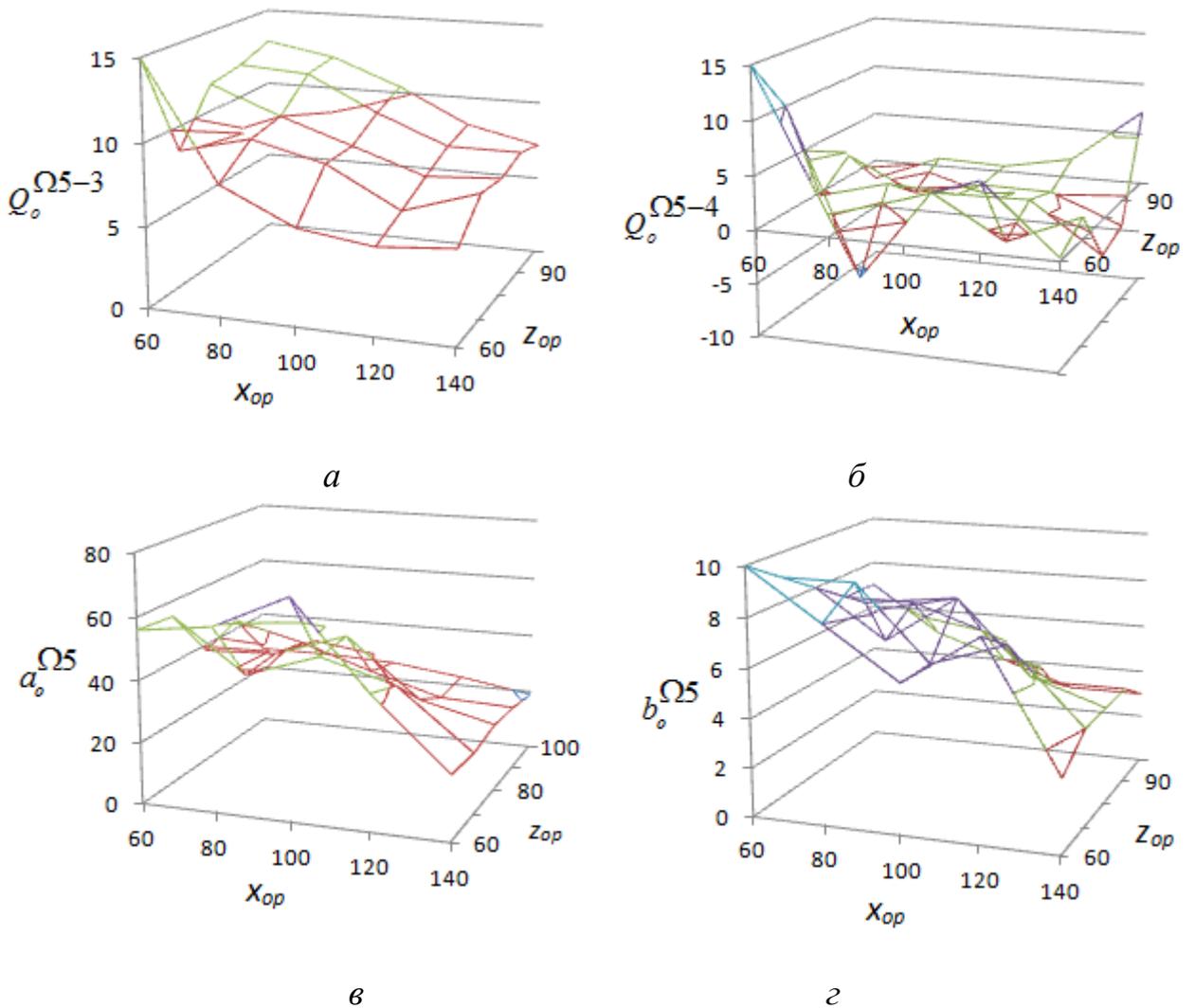


Рис. 3 – Графики-функции: а – $Q_{\Omega 5-3} = f_1(x_{op}, z_{op})$;
 б – $Q_{\Omega 5-4} = f_2(x_{op}, z_{op})$; в – $a_{\Omega 5} = f_3(x_{op}, z_{op})$; г – $b_{\Omega 5} = f_4(x_{op}, z_{op})$

В связи с этим было принято значения параметров $Q_o^{\Omega_5-3}$, $Q_o^{\Omega_5-4}$, a^{Ω_5} и b^{Ω_5} задавать в виде полиномов третьей степени:

$$\begin{aligned}q^{\Omega_5-3} &= Q_3^{\Omega_5-3} q_2^3 + Q_2^{\Omega_5-3} q_2^2 + Q_1^{\Omega_5-3} q_2 + Q_o^{\Omega_5-3}; \\q^{\Omega_5-4} &= Q_3^{\Omega_5-4} q_2^3 + Q_2^{\Omega_5-4} q_2^2 + Q_1^{\Omega_5-4} q_2 + Q_o^{\Omega_5-4}; \\a^{\Omega_5} &= a_3^{\Omega_5} q_2^3 + a_2^{\Omega_5} q_2^2 + a_1^{\Omega_5} q_2 + a_o^{\Omega_5}; \\b^{\Omega_5} &= b_3^{\Omega_5} q_2^3 + b_2^{\Omega_5} q_2^2 + b_1^{\Omega_5} q_2 + b_o^{\Omega_5},\end{aligned}\tag{1}$$

где $Q_3^{\Omega_5-3}$, $Q_2^{\Omega_5-3}$, ..., $b_2^{\Omega_5}$, $b_1^{\Omega_5}$, $b_o^{\Omega_5}$ определяют коэффициенты полиномов (1), задающих область Ω_5 . Значения данных коэффициентов получены экспериментальным путем на основе получения множества сечений при различных значениях x_{op} , z_{op} и q_2 . Значения указанных коэффициентов для двух положений запретной зоны P заданы в первом столбце таблицы.

Неравенство, определяющее область Ω_5 пространства Q задающее запрещенные конфигурации имеет следующий вид [9]:

$$\begin{aligned}&\frac{\left(q_2 \sin \varphi^{\Omega_5} + q_3 \cos \varphi^{\Omega_5} + \left(Q_3^{\Omega_5-3} q_2^3 + Q_2^{\Omega_5-3} q_2^2 + Q_1^{\Omega_5-3} q_2 + Q_o^{\Omega_5-3}\right)\right)^2}{\left(a_3^{\Omega_5} q_2^3 + a_2^{\Omega_5} q_2^2 + a_1^{\Omega_5} q_2 + a_o^{\Omega_5}\right)^2} + \\&+ \frac{\left(q_2 \cos \varphi^{\Omega_5} + q_3 \sin \varphi^{\Omega_5} + \left(Q_3^{\Omega_5-4} q_2^3 + Q_2^{\Omega_5-4} q_2^2 + Q_1^{\Omega_5-4} q_2 + Q_o^{\Omega_5-4}\right)\right)^2}{\left(b_3^{\Omega_5} q_2^3 + b_2^{\Omega_5} q_2^2 + b_1^{\Omega_5} q_2 + b_o^{\Omega_5}\right)^2} - 1 \geq 0\end{aligned}\tag{2}$$

Неравенство (2) используется в зависимости [9,10]:

$$\Lambda \rightarrow ((((((\Omega \cup \Omega_1) \cup \Omega_2) \cup \Omega_3) \cup \Omega_4) \cup \Omega_5) \cup \Omega_6) \geq 0.\tag{3}$$

В данном неравенстве, область Ω – определяет параллелепипед, заданный предельными значениями обобщенных координат, Ω_1, Ω_5 – области, точки которых находятся снаружи эллиптических цилиндров [9]. Области $\Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$ задают полупространства, определяемые плоскостями. Ω_6 – область, определяемая параболическим цилиндром [9]. Использование неравенства (3) позволяет вычислять в приближенном виде запрещенные конфигурации при нахождении механизма манипулятора мобильного робота в непосредственной близости от запретной зоны. На рис. 4 представлены графики $t = f_1(k)$ и $t_A = f_2(k)$ определяющие зависимость времени вычисления разрешенных конфигураций при использовании двух различных способов расчета. При проведении исследований использовался компьютер на базе процессора Dual Core Intel Core I3-540, оперативная память DDR3 4 Гб, видеоадаптер дискретный Zotac GeForce GTX 560 с объемом памяти 2Гб. Параметр k определяет число итераций при вычислении разрешенных конфигураций при синтезе движений по вектору скоростей.

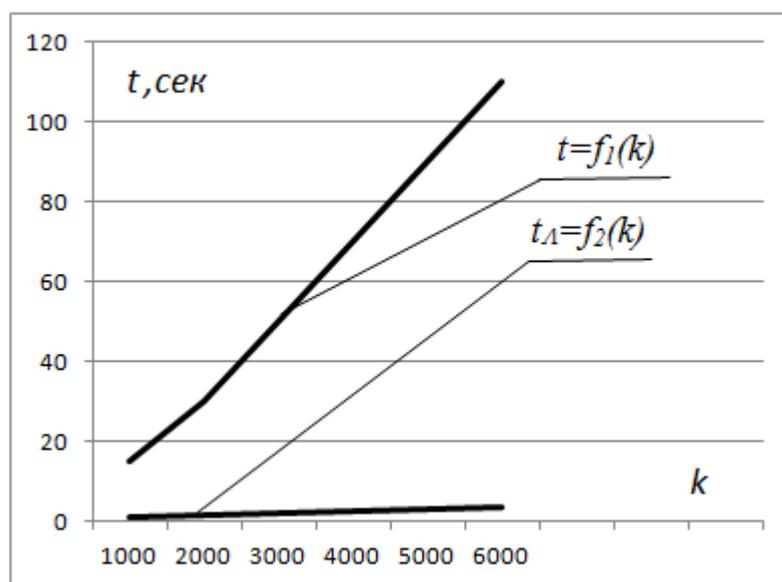


Рис. 4. – Графики-зависимости $t_A = f_2(k)$ и $t = f_1(k)$

Данный параметр используется при вычислении вектора обобщенных скоростей при наличии двигательной избыточности. Первый способ $t_A = f_2(k)$ основан на использовании неравенств (2,3) определяющих область A . Вторым способом $t = f_1(k)$ основан на определении пересечений трехмерных примитивов задающих звенья механизмов с запретной зоной. Как видно из графиков функций первый способ расчета разрешенных конфигураций требует на несколько порядков меньше времени вычислений, чем второй.

Разработанное программное обеспечение и полученные аналитические зависимости могут быть использованы как составная часть интеллектуальных систем управления, которые позволяют планировать траектории перемещения манипуляторов в заранее известном сложно организованном пространстве, с целью обеспечения автономного функционирования роботов.

Литература

1. Ющенко, А. С. Интеллектуальное планирование в деятельности роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. №3. – С. 5 – 18.
2. Макаров, И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Евстигнеев Д. В., Семенов А. В. Интеллектуальные робототехнические системы: принципы построения и примеры реализации. Часть 1 // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. №11. – С. 14 – 23.
3. Егоров, А. С., Лопатин П.К. Использование алгоритма полиномиальной аппроксимации в задаче управления манипулятором в среде с неизвестными препятствиями // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – №3. – С. 24–29.
4. Притыкин, Ф. Н. Виртуальное моделирование движений роботов, имеющих различную структуру кинематических цепей: монография; ОмГТУ



– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 172 с.: ил.

5. Притыкин, Ф. Н., Осадчий А.Ю. Способ кодирования информации при задании геометрических моделей исполнительных механизмов роботов // Инженерный вестник Дона, 2014, № 2. URL: ivdon.ru/magazine//archive/n2y2014/2363/.

6. Ляшков, А.А., Завьялов А.М. Семейство поверхностей, заданное формулами преобразования координат, и его огибающая // «Инженерный вестник Дона», 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1512/.

7. Isto P. A parallel motion planner for systems with many degrees of freedom // Proc. of the 10th Intemat. Conf. on Advanced Robotics (ICAR 2001), August 22—25, 2001, Hotel Mercure Buda, Budapest, Hungary. pp. 339—344.

8. Lopatin P. K. Algorithm of a manipulator movement amidst unknown obstacles // Proc. of the 10th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2001). August 22—25. 2001. Hotel Mer- cure Buda, Budapest, Hungary. pp. 327—331.

9. Притыкин, Ф.Н., Осадчий А.Ю. Исследование областей пространства конфигураций, задающих совокупность достижимых точек рабочей зоны манипулятора с учетом положения запретных зон // Омский научный вестник. – 2014. – № 3 (133). – С. 70 – 74.

10. Рвачев, В. Л. Методы алгебры логики в математической физике – Киев; 1974. – 256 с.

References

1. Yushchenko, A. S. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2005. №3. pp. 5 - 18.
2. Makarov, I. M., Lokhin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P., Evstigneev D. V., Semenov A. V. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2004. №11. pp. 14 - 23.



3. Egorov, A. S. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2013. №3. pp. 24 - 29.
4. Pritykin, F. N. Virtual'noe modelirovanie dvizheniy robotov, imeyushchikh razlichnuyu strukturu kinematicheskikh tsepey [Virtual modeling movements of robots with different structures kinematic chains]: monografiya. OmGTU. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2014. 172 p. : il.
5. F. N. Pritykin, A. Yu. Osadchiy. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, № 2
ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2363
6. A.A. Lyashkov, A.M. Zav'yalov. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1
ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1512
9. F. N. Pritykin, A.Yu. Osadchiy. Omskiy nauchnyy vestnik. 2014. № 3 (133). pp. 70 - 74.
10. Rvachev, V. L. Metody algebrы logiki v matematicheskoy fizike [Methods of algebra of logic in mathematical physics]. Kiev; 1974. 256 p.