

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 4, Number 356 (2015), 81 – 87

**STUDYING THE PROPERTIES OF THE ROBUSTNESS
OF CONTROL ALGORITHMS ACTIVE MAGNETIC LEVITATION**

K. A. Ozhikenov, A. D. Abildayeva

Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

Key words: active magnetic levitation, nonlinear control, sliding mode, sigmoid function, linear control law, algorithm, object management, stabilization.

Abstract. The basic idea of the use of electric and magnetic fields for the active magnetic suspension exist for many years. It may be noted that the development of instrument making and mechanical engineering major progress of the active magnetic suspension.

As a model of active magnetic suspension can be considered a device that allows you to stabilize the steel ball in a magnetic suspension. This device is part of a complete magnetic bearing.

The purpose of management is the task of stabilizing the object in a certain position. Such an object can be a steel ball or a certain shaft assembly. It may also be considered the problem of tracking certain command signal that sets the desired position of an object in a magnetic suspension as a known function of time. The substantiation of the traditional mathematical model of single-axis active magnetic suspension.

The article have been developed and investigated nonlinear control algorithms for active magnetic suspension in solving the problem of stabilization given command signal. The analyses of non-linear model of the control object.

A procedure for the synthesis of the control loop on the basis of linerizatsi feedback. The stability of the selected control algorithms. A comparative analysis of the three management methods, as well as an analysis of the robustness of the developed algorithms based on computer simulation.

УДК 681.513.6'114(043)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РОБАСТНОСТИ АЛГОРИТМОВ
УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ**

К. А. Ожикенов, А. Д. Абильдаева

Казахский национальный университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: активный магнитный подвес, нелинейное управление, скользящий режим, сигмоидная функция, линейный закон управления, алгоритм, объект управления, стабилизация.

Аннотация. Основная идея использование электрических и магнитных полей для активного магнитного подвеса существует в течение многих лет. Можно отметить, что развитие приборостроения и машиностроения основной прогресс развития активного магнитного подвеса.

В качестве модели активного магнитного подвеса можно рассмотреть устройство, которое позволяет стабилизировать стальной шарик в магнитном подвесе. Данное устройство является частью полного магнитного подшипника.

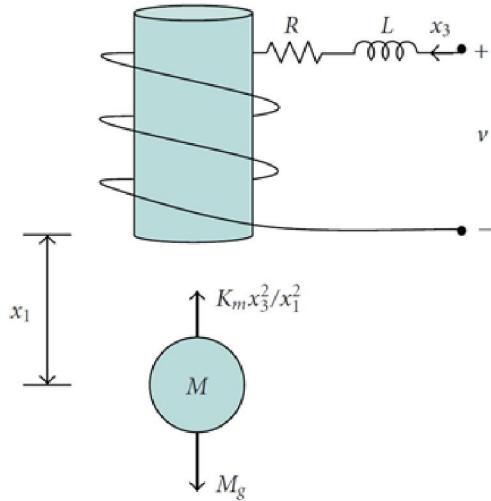
Целью управления является задача стабилизации некоторого объекта в заданном положении. Таким объектом может быть стальной шарик или вал некоторого агрегата. Также может быть рассмотрена задача слежения за неким командным сигналом, который задает требуемое положение предмета в магнитном подвесе, как известную функцию времени. Даётся обоснование традиционной математической модели одноосного активного магнитного подвеса.

В статье были разработаны и исследованы алгоритмы нелинейного управления активным магнитным подвесом при решении задачи стабилизации заданного командного сигнала. Проведен анализ нелинейной модели объекта управления.

Разработана процедура синтеза контура управления на основе метода линеаризации обратной связью. Доказана устойчивость выбранных алгоритмов управления. Проведен сравнительный анализ трех методов управления, а также проведен анализ робастности разработанных алгоритмов на основе компьютерного моделирования.

Введение. Активный магнитный подшипник – это управляемое электромагнитное устройство, которое поддерживает вырастающую часть машины (ротор) в заданном положении относительно неподвижной части (статора).

В качестве модели активного магнитного подвеса можно рассмотреть устройство, которое позволяет стабилизировать стальной шарик в магнитном подвесе. Данное устройство является частью полного магнитного подшипника [1]. Принцип действия показан на рисунке:



Принцип действия активного магнитного подвеса

Для шарика в магнитном подвесе в [2] получена модель вида:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = g - \frac{c}{m} \left(\frac{x_3}{x_1} \right)^2 \\ \dot{x}_3 = -\frac{R}{L(x_1)} x_3 + \frac{2C}{L(x_1)} \frac{x_2 x_3}{x_1^2} + \frac{1}{L(x_1)} u, \end{cases} \quad (1)$$

где x_1 – перемещение шарика; x_2 – скорость перемещения шарика; x_3 – ток; $L(x_1)$ – индуктивность, $L(x_1) = L_1 + \frac{2C}{x_1}$.

Методы исследования

1. Задача стабилизации шарика в магнитном подвесе. Пусть требуется стабилизировать шарик в положении x_{1d} . Тогда точка равновесия системы (1) будет $(x_{1d}, 0, x_{3d})$, где

$$x_{3d} = \sqrt{\frac{gm}{c}} x_{1d}.$$

Приведем систему (1) к нормальной форме [3]. Для этого введем новые фазовые координаты:

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1 - x_{1d} \\ z_2 &= z_1 \\ z_3 &= g - \frac{c}{m} \left(\frac{x_3}{x_1} \right)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Заметим, что z_3 – ускорение перемещения шарика. В новых координатах система примет вид:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 = z_3 \\ \dot{z}_3 = f_1(x) + g_1(x)u \end{cases} \quad (3)$$

где

$$f_1(x) = \frac{2C}{m} \left(\left(1 - \frac{2C}{L(x_1)x_1} \right) \frac{x_2x_3^2}{x_1^3} + \frac{R}{L(x_1)} \frac{x_3^2}{x_1^2} \right)$$

$$g_1(x) = -\frac{2C}{L(x_1)m} \frac{x_3}{x_1^2}$$

Для управления объектом (3) можно использовать метод линеаризации обратной связью [3].

Для этого возьмем управление в виде:

$$u = \frac{1}{g_1(x)} (-f_1(x) + V), \quad (4)$$

где V новое управление.

Подставляем (4) в (3), получаем:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 = z_3 \\ \dot{z}_3 = V \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, мы получили линейную систему, для которой нужно определить управление V . Выражения (4) можно применять к системе (3) поскольку ток x_3 в выражении для $g_1(x)$ никогда не равен нулю и всегда положителен. Аналогично для x_1 - это всегда положительная величина не равная нулю.

2. Синтез линейного алгоритма управления. Предположим, что нам доступен для измерения весь фазовый вектор системы (1) и, соответственно, системы (5).

Возьмем следующий закон управления V для системы (2.5)

$$V = -\lambda_1 z_3 - \lambda_2 z_2 - \lambda_3 z_1 - \lambda_4 \int_o^t z_1(\tau) d\tau \quad (6)$$

Введем новую переменную

$$z_0 = \int_o^t z_1(\tau) d\tau$$

Тогда система (5), (6) может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \dot{z}_0 = z_1 \\ \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 = z_3 \\ \dot{z}_3 = -\lambda_1 z_3 - \lambda_2 z_2 - \lambda_3 z_1 - \lambda_4 z_0 \end{cases} \quad (7)$$

Система (7) будет устойчивой, если будет устойчив полином [3]:

$$p^4 + \lambda_1 p^3 + \lambda_2 p^2 + \lambda_3 p + \lambda_4 = 0.$$

Выбором распределения корней этого полинома можно обеспечить желаемую динамику системы (5), (6).

3. Синтез нелинейного закона управления. Введем следующую комбинацию выходов системы (5)

$$S(x) = z_3 + k_1 z_2 + k_2 z_1 \quad (8)$$

Другое представление:

$$S(x) = \ddot{z}_1 + k_1 \dot{z}_1 + k_2 z_1$$

Коэффициенты k_1 и k_2 выбираются, так, чтобы $k_1 > 0$ и $k_2 > 0$.

Отсюда следует, что полином

$$\rho^2 + k_1\rho + k_2 = 0 \text{ - устойчивый}$$

Сделаем замену переменной z_3 на S в системе (5). Из (8) можно получить

$$z_3 = S - k_1 z_2 - k_2 z_1 \quad (9)$$

Подставив (9) во второе уравнения (5), получим

$$\dot{z}_2 = -k_1 z_2 - k_2 z_1 + S \quad (10)$$

Продифференцировав (8), получаем

$$\dot{S} = \dot{z}_3 + k_1 \dot{z}_1 + k_2 \dot{z}_1$$

Отсюда

$$\dot{z}_3 = \dot{S} - k_1 \dot{z}_2 - k_2 \dot{z}_1 \quad (11)$$

Подставляя (10), (11) в (5), получаем

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = \dot{z}_2 \\ \dot{z}_2 = -k_1 z_2 - k_2 z_1 + S \\ \dot{S} = k_1 z_3 - k_2 z_2 + V \end{cases} \quad (12)$$

Возьмем управление V в (2.12) в виде

$$V = -k_1 z_3 - k_2 z_2 - \alpha \operatorname{sign}(S), \quad (13)$$

где $\alpha > 0$ – параметр

Тогда система (12) примет вид

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = \dot{z}_2 \\ \dot{z}_2 = -k_1 z_2 - k_2 z_1 + S \\ \dot{S} = -\alpha \operatorname{sign}(S) \end{cases} \quad (14)$$

Проверим устойчивость системы (14). Третье уравнение обеспечивает равенство $S = 0$ за некоторое конечное время t_* , поскольку там возникает скользящий режим [4, 5].

Первые два уравнения в (14) – это линейная система с возмущением в виде S .

Эта линейная система устойчива в силу выбора коэффициентов k_1 и k_2 . Отсюда следует, что при $S = 0$, начиная с момента времени t_* , z_1 и z_2 будут асимптотически стремиться к нулю.

Закон управления (13) дает разрывной сигнал управления, что не всегда приемлемо на практике и приводит нежелательному эффекту под названием chattering (дребезг) [3-5].

Этого эффекта можно избежать, если взять управления (13) в следующем виде [5]:

$$V = -k_1 z_3 - k_2 z_2 - \alpha \frac{S}{|S| + \varepsilon}, \quad (15)$$

где $\varepsilon > 0$ – достаточно малый параметр.

Подобная функция $\frac{S}{|S| + \varepsilon}$ называется сигмоидной [3], поэтому закон управления (15) мы далее будем называть законом управления с сигмоидной функцией.

Результат исследования. Далее для проверки работоспособности синтезированных алгоритмов было проведено моделирование в системе MATLAB/SIMULINK. Для этого возьмём номинальный режим. В этом режиме сравнивалась работоспособность трех синтезированных законов управления в задаче стабилизации.

Параметры объекта управления были следующими:

$$R_0 = 27,8 \text{ Ом}$$

$$L_0 = 0,65 \text{ Н}$$

$$C_0 = 0,000141 \text{ Н м}^2 \text{ А}^2$$

$$m_0 = 0,01187 \text{ кг}$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

Начальные условия для фазовых переменных:

$$x_1(0)=0,015 \text{ м}$$

$$x_2(0)=0$$

$$x_3(0)=x_2(0) \sqrt{\frac{g*m_0}{c_0}} \text{ А}$$

Требуемое положение шарика в магнитном подвесе:

$$x_{1d} = 0,018 \text{ м}$$

В результате проведенных расчетов были выбраны следующие параметры для законов управления:

1. Линейный закон управления(6)

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 900 & \lambda_3 &= 950\ 000 \\ \lambda_2 &= 80\ 000 & \lambda_4 &= 3\ 000\ 000\end{aligned}$$

Эти значения соответствуют следующим корням характеристического уравнения системы (7)

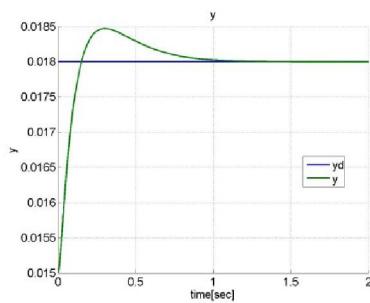
- 5,8623
- 7,5151
- 84,9404
- 801,6822

2. Закон управления на скользящем режиме (13)

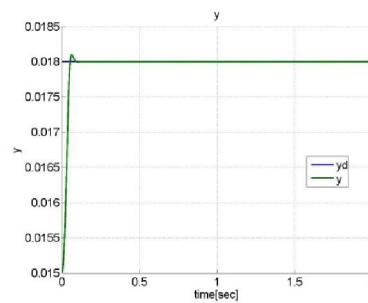
$$\begin{aligned}k_1 &= 150 \\ k_2 &= 12\ 500 \\ \lambda &= 1000\end{aligned}$$

3. Закон управления с сигмоидной функцией (15)

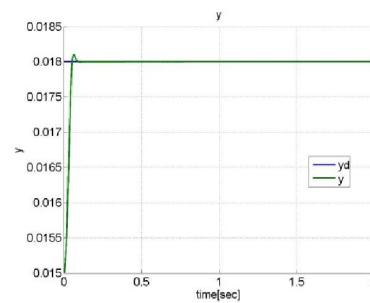
$$\begin{aligned}k_1 &= 150 \\ k_2 &= 12\ 500 \\ \lambda &= 1000 \\ \varepsilon &= 0,005\end{aligned}$$



a)



б)

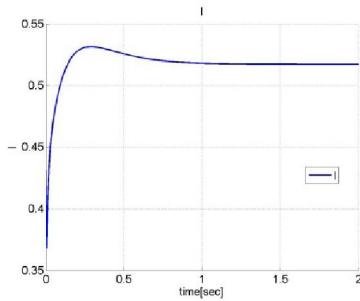


в)

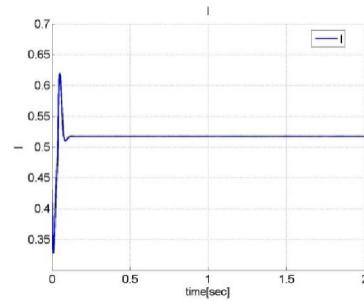
а) График изменения положения шарика в номинальном режиме при линейном законе управления (6)

б) График изменения положения шарика в номинальном режиме при законе управления на скользящем режиме (13)

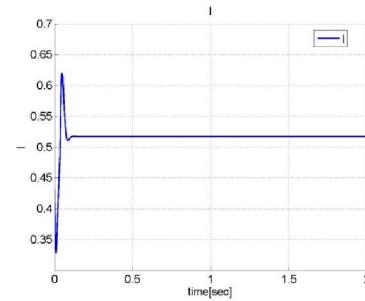
в) График изменения положения шарика в номинальном режиме при законе управления с сигмоидной функцией (15)



a)



б)

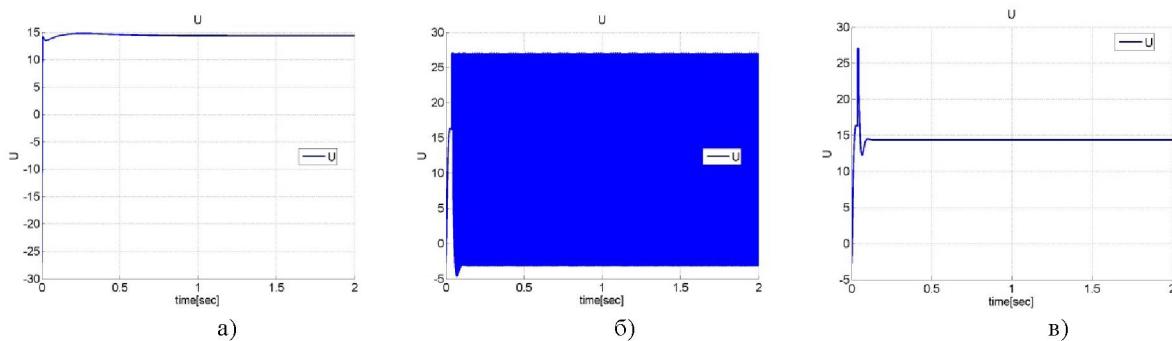


в)

а) График изменения положения шарика в номинальном режиме при линейном законе управления (6)

б) График изменения положения шарика в номинальном режиме при законе управления на скользящем режиме (13)

в) График изменения положения шарика в номинальном режиме при законе управления с сигмоидной функцией (15)



- а) График управляющего сигнала в номинальном режиме при линейном законе управления (6)
 б) График управляющего сигнала в номинальном режиме при законе управления на скользящем режиме (13)
 в) График управляющего сигнала в номинальном режиме при законе управления с симмоидной функцией (15)

Выводы. Алгоритм номинальный режим с линейным законом управления показал невысокое быстродействие. Нелинейные алгоритмы в номинальном режиме при законе управления на скользящем режиме и в номинальном режиме при законе управления с симмоидной функцией показали высокое быстродействие, но алгоритм номинальном режиме при законе управления на скользящем режиме дает существенно разрывное управление.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники. Теория, расчет, применение. – Санкт-Петербург: Политехника, 2003. – 206 с.
- [2] Barie W. Linear and nonlinear state-space controllers for magnetic levitation // International Journal of Systems. – 1996.–№11.– P. 1153-1163.
- [3] Khalil H. Nonlinear Systems, 3rd ed. Upper Saddle River. // NJ: Prentice–Hall. 2002.
- [4] Shtessel Y., Edwards C., Fridman L., Levant A. Sliding mode control and observation. // Birkhauser. – 2013.
- [5] Utkin V. I., Guldner J., Shi. Sliding J. Mode Control in Electro-Mechanical Systems // Boca Raton, FL: CRC. – 2009.
- [6] Boerdijk , A.H. Technical aspects of levitation // Philips Res. Rep. – 11. – 1965. – P.45-56.
- [7] Geary, P.J. Magnetic and electric suspensions / BSIRA. – R314. – London, 1964. – 162p.
- [8] Вышков, Ю.Д. В.И. Иванов, Магнитные опоры в автоматике. / М.: Энергия, 1978. – 163с.
- [9] Осокин Ю. А., Станкевич Н.Н. Разработка и применение электромагнитных подвесов в приборостроении // Изв. вузов. Приборостроение. – 1982. - №2.-С.56-59.
- [10] Фролов Б.В. Сравнительный анализ силовых электромагнитных опор // Изв. вузов. Электромеханика. – 1985. - №2.-С. 73-76.

REFERENCES

- [1] Zhuravlev Y. N. Active magnetic bearings. Theory, calculation, application. – St.Peterburg: Politehnica, 2003 – 206 p
- [2] Barie W. Linear and nonlinear state-space controllers for magnetic levitation International Journal of Systems. – 1996.–№11.– P. 1153-1163.
- [3] Khalil H. Nonlinear Systems, 3rd ed. Upper Saddle River. NJ: Prentice–Hall. 2002.
- [4] Shtessel Y., Edwards C., Fridman L., Levant A. Sliding mode control and observation. Birkhauser. – 2013.
- [5] Utkin V. I., Guldner J., Shi. Sliding J. Mode Control in Electro-Mechanical Systems Boca Raton, FL: CRC. – 2009.
- [6] Boerdijk , A.H. Technical aspects of levitation Philips Res. Rep. – 11. – 1965. – P.45-56.
- [7] Geary, P.J. Magnetic and electric suspensions BSIRA. – R314. – London, 1964. – 162p.
- [8] Vyskov, YD VI Ivanov, the magnetic bearing in automation. M : Energia, 1978. - 163c.
- [9] Osokin Yu, N. Stankevich Development and application of electromagnetic suspension device manufacturing Math. universities. Instrument. - 1982. - №2.-S.56-59.
- [10] Frolov BV Comparative analysis of the power of electromagnetic poles Math. universities. Electromechanics. - 1985. - №2.-С. 73-76.

БЕЛСЕНДІ МАГНИТТІ ІЛМЕСІНІҢ БАСҚАРУ АЛГОРИТІМІНІң РОБАСТЫЛЫҚ ҚАСИТЕТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Қ. Ә. Өжікенов, А. Д. Абильдаева

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер:белсенді магнитті ілме, сзықты емес басқару, жылжымалы режим, симмоидалық функция, сзықты басқару жүйесі, алгоритм, басқару объектісі, тұрактандыру.

Аннотация. Макалада белсенді магнитті ілменің сыйықты емес басқару алгоритмінде берілген командалық сигналда тұрақтандыру әдістері зерттелді және жасалынды. Сыйықты емес басқару жүйесі моделіне зерттеу жасалынды.

Сыйықты кері байланыс әдісі негізінде басқару контур құбылысына талдау жасалынды. Таңдалынып алынған басқару алгоритмдерінің тұрақтылығы далалденді. Таңдалынып алынған 3 басқару әдістеріне салыстыру жүргізілді, сонымен қатар талданған алгоритмдерді қолданып компьютерлік модель негізінде робастылық талдау жасалынды.

Поступила 22.05.2015 г.

BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 1991-3494

Volume 4, Number 356 (2015), 87 – 93

THE DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF THE BROWN BEAR POPULATION IN KAZAKHSTAN: AN ANALYTICAL REVIEW

S. S. Kantarbaev¹, B. N. Mynbayeva¹, A. A. Grachev², N. V. Voronova³

¹Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Almaty, Kazakhstan,

²Institute of Zoology CS MES, Almaty, Kazakhstan,

³Kazakh National University named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: mr.iron-lordi@mail.ru, bmynbayeva@gmail.com, aleksey.grachev@list.ru, slovonine@mail.ru

Keywords: brown bear, population, areal, Kazakhstan.

Abstract. Authors of the article submitted the analytical overview of the past and present state of the brown bear population, in the Republic of Kazakhstan inhabiting. The purpose of this article is to analyze the literature data on the research of the spread of brown bears, their areals and population abundance in Kazakhstan. Earlier, there were significant areals of brown bears distribution in Kazakhstan. An analysis of the current situation showed a decrease in both the geography of their distribution and abundance. Fixed total number of the brown bears in Kazakhstan varies between from 500 to 1,000 bears as on the 70s XXth century. The latest scientific publications by the study of this type on the territory of Kazakhstan is for 80s XXth century. At present research on the state of the brown bear population is not conducted, and there is no new data on its ecology. Based on the data of analytical review, the authors substantiate the actuality and novelty of the problem, and assume to undertake the necessary field studies on population structure of the Tien Shan subspecies of brown bear, habituating in the mountains of the Tien Shan Kazakh part.

УДК 599.742.21

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ЧИСЛЕННОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ БУРОГО МЕДВЕДЯ В КАЗАХСТАНЕ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

С. С. Кантарбаев¹, Б. Н. Мынбаева¹, А. А. Грачев², Н. В. Воронова³

¹ Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан,

² Институт зоологии КН МОН РК, Алматы, Кашшакстан,

³ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: бурый медведь, популяция, ареал, Казахстан.

Аннотация. Авторы статьи представили аналитический обзор по прошлому и современному состоянию популяции бурого медведя, обитающего в Республике Казахстан. Целью данной работы является анализ литературных данных по изучению распространения бурых медведей, их ареалов и численности популяции в