



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



Л. Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ
ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Л. Н. ГУМИЛЕВА
GUMILYOV EURASIAN
NATIONAL UNIVERSITY



Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2015»
атты X Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
X Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2015»

PROCEEDINGS
of the X International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2015»

УДК 001:37.0
ББК72+74.04
Ғ 96

Ғ96

«Ғылым және білім – 2015» атты студенттер мен жас ғалымдардың X Халық. ғыл. конф. = X Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2015» = The X International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2015». – Астана: <http://www.eni.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie-2015/>, 2015. – 7419 стр. қазақша, орысша, ағылшынша.

ISBN 978-9965-31-695-1

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 001:37.0
ББК 72+74.04

ISBN 978-9965-31-695-1

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2015

Метод простого динамического анализа используется для определения тренда имеющегося временного ряда. Данную составляющую можно рассматривать в качестве общей направленности изменений значений ряда или основной тенденции ряда. Случайные колебания выявляются путем снятия тренда, циклических и сезонных колебаний для данного значения. Остающаяся после этого величина и есть беспорядочное отклонение, которое необходимо учитывать при определении вероятной точности принятой модели прогнозирования. Метод простого динамического анализа исходит из предпосылки, что прогнозируемый показатель (Y) изменяется прямо (обратно) пропорционально с течением времени. Параметры уравнения регрессии (a , b) находятся методом наименьших квадратов. Существуют также другие критерии адекватности (функции потерь), например метод наименьших модулей или метод минимакса.

Изучение тенденций динамики и колеблемости дает материал для прогнозирования возможных оценок величины изучаемого признака. Такой прогноз предназначен либо для планирования управления объекта, либо для выработки стратегии поведения субъекта. Прогноз предполагает количественное измерение вероятных возможностей ожидаемых значений признаков, но необходимо, чтобы прогностическая модель имела достаточную точность или допустимо малую ошибку прогноза. Ошибка статистического прогноза будет тем меньше, чем меньше срок упреждения и чем длиннее база прогноза.

Для земельно-кадастровых показателей характерно наличие множества значений. Например, учет и оценка качества земель выполняется в разрезе категорий землепользователей и административно-территориального деления (по районам, областям и т.д.). Интегрированные или усредненные значения показателей по регионам или по республике в целом, могут привести к неверной, постановке гипотез и некачественному прогнозу, поэтому нежелательно использование простых методов анализа временных рядов.

Для эффективного прогнозирования поведения тренда необходимо иметь обобщенную аналитическую форму, описывающую тенденцию развития в виде функции времени и соответствующей кривой. Такие кривые мы получаем путем аналитического выравнивания (сглаживания) временного ряда с помощью подбора функций, удовлетворяющих тем или иным условиям. Найденная функция позволит получить выравненные значения уровней ряда и использовать ее для экстраполяции тренда.

На первом этапе проводится выбор типа кривой, форма которой соответствует характеру изменения уровней ряда. Затем осуществляется определение численных значений параметров функции (статистическая оценка). В результате решения этих задач должна быть построена математическая модель прогнозирования процесса по тренду. При выравнивании временных рядов используются функции полиномиальные и экспоненциальные функции.

Рассматриваемая нами проблема связана с расчетом количественного динамического анализа. В информационной системе земельно-кадастровой базы по нашей области происходит постоянное обновление или изменение данных, что требует введение усредненных характеристик, прогнозируемых показателей.

Список использованных источников

1. Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности. – Москва: Дело и Сервис, 1999, 458 с.
2. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. – Москва: Финансы и статистика, 1998, 245 с.

УДК 681.5.037

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОСМИЧЕСКИМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ МЕТОДОМ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА В КЛАССЕ КАТАСТРОФ ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ ОМБИЛИКА

Куандык Гауһар Аманбеккызы

kuandyk.gauhar@mail.ru

Магистрант 1 курса по специальности «Автоматизация и управление»

ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – М.А.Бейсенби

Важное место в теории и практики управления космическими летательными аппаратами занимает проблема робастной устойчивости, которая связано с получением совокупности ограничений на параметры системы. Ее решению для линейных систем управления с параметрической неопределенностью посвящено большое число работ [1,2,3,4].

В них рассматривались, как правило, лишь робастная устойчивость полиномов, матриц, в рамках линейного принципа устойчивости непрерывных и дискретных систем управления. В работах [3,4]. Исследуется абсолютная устойчивость как робастная устойчивость системы управления относительно выбора нелинейности из заданного (секторного) класса, т.е. решаются задачи робастной абсолютной устойчивости. При этом неопределенность может быть обусловлена незнанием истинных значений параметров системы управления и непредсказуемым изменением их во времени (в процессе эксплуатации) системы. В частности, напряжение на шинах питания связано с работой панелей солнечных батарей и может колебаться в значительных диапазонах. Большинство компонентов системы управления КЛА подвержены значительным перепадам температур, а также влиянию нейтронов, ионизирующей радиаций космических лучей различной интенсивности. Все эти отклонения параметров от номинальных величин непредсказуемым образом в различных частях системы, приводят к таким последствиям, что динамика системы управления КЛА становится менее предсказуемой и может характеризоваться нежелательными колебаниями и хаотическим поведением.

В связи с этим, в условиях неопределенности в параметрах систем управления КЛА возникла необходимость в разработке и создании системы с достаточно широкой областью робастной устойчивости, названные системами управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости [8,9,10].

Функционирования систем управления КЛА в условиях существенной параметрической неопределенности, увеличение потенциала робастной устойчивости является одним из ключевых факторов, гарантирующих системе управления КЛА от попадания в режим детерминированного хаоса, образуя странные аттракторы в линеаризованных системах от потери устойчивости и гарантирует работоспособность и надежность работы спроектированных систем управления при любых изменениях неопределенных параметров КЛА. Концепция построения системы управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости базируется на результатах теорий катастроф [11,12].

Система управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости для линейной КА в классе катастроф гиперболическая омбилика.

Рассмотрим линейную систему управления КЛА:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{1}{I_x} (-M_{xu} + M_{xf}) \\ \frac{dx_3}{dt} = x_4 \\ \frac{dx_4}{dt} = \frac{1}{I_y} (-M_{yu} + M_{yf}) \\ \frac{dx_5}{dt} = x_6 \\ \frac{dx_6}{dt} = \frac{1}{I_z} (-M_{zu} + M_{zf}) \end{array} \right. \quad (1)$$

где I_x , I_y и I_z – главные центральные моменты инерций КА относительно соответствующих осей x , y и z ; M_{xu} , M_{yu} , M_{zu} и M_{xf} , M_{yf} , M_{zf} – соответственно проекции управляющего и возмущающего моментов на соответствующие оси.

Закон управления задается в форме трех параметрических структурно-устойчивых отображений (катастрофа гиперболическая омбилика):

$$\left\{ \begin{array}{l} -M_{xy} + M_{xf} = -x_1^3 - x_2^3 - k_{12}x_1x_2 + k_2x_2 + k_1x_1 \\ -M_{yu} + M_{yf} = -x_3^3 - x_4^3 - k_{34}x_3x_4 + k_3x_3 + k_4x_4 \\ -M_{zu} + M_{zf} = -x_5^3 - x_6^3 - k_{56}x_5x_6 + k_5x_5 + k_6x_6 \end{array} \right. \quad (2)$$

Стационарные состояния системы находим из системы алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{2s} = 0 \\ -ax_{1s}^3 - ax_{2s}^3 - ak_{12}x_{1s}x_{2s} + ak_1x_{1s} + ak_2x_{2s} = 0 \\ x_{4s} = 0 \\ -bx_{3s}^3 - bx_{4s}^3 - bk_{34}x_{3s}x_{4s} + bk_3x_{3s} + bk_4x_{4s} = 0 \\ x_{6s} = 0 \\ -cx_{5s}^3 - cx_{6s}^3 - ck_{56}x_{5s}x_{6s} + ck_5x_{5s} + ck_6x_{6s} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

Из уравнений (3) находим стационарные состояния системы

$$x_{1s} = 0, x_{2s} = 0, x_{3s} = 0, x_{4s} = 0, x_{5s} = 0, x_{6s} = 0, \quad (4)$$

и другие стационарные состояния определяются решениями уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} -ax_{1s}^2 + ak_1 = 0, \quad x_{2s} = 0 \\ -bx_{3s}^2 + bk_3 = 0, \quad x_{4s} = 0 \\ -cx_{5s}^2 + ck_5 = 0, \quad x_{6s} = 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

Уравнения (5) имеет решений

$$x_{1s}^{2,3} = \pm\sqrt{k_1}, x_{2s} = 0, x_{3s}^{2,3} = \pm\sqrt{k_3}, x_{4s} = 0, x_{5s}^{2,3} = \pm\sqrt{k_5}, x_{6s} = 0$$

Исследуем устойчивость состояний (4) системы (2) предложенным методом функций Ляпунова. Находим компоненты вектора градиента следующим образом:

$$\frac{\partial V_1(x)}{\partial x_1} = 0, \quad \frac{\partial V_1(x)}{\partial x_2} = -x_2, \dots, \frac{\partial V_1(x)}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial V_2(x)}{\partial x_1} = ax_1^3 + \frac{1}{2}ak_{12}x_1x_2 - k_1x_1$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial V_2(x)}{\partial x_2} &= ax_2^3 + \frac{1}{2}ak_{12}x_1x_2 - k_2x_2 \\
\frac{\partial V_1(x)}{\partial x_3} &= 0, \dots, \frac{\partial V_2(x)}{\partial x_6} = 0 \\
\frac{\partial V_3(x)}{\partial x_1} &= 0, \dots, \frac{\partial V_3(x)}{\partial x_4} = -x_4, \frac{\partial V_3(x)}{\partial x_5} = 0, \frac{\partial V_3(x)}{\partial x_6} = 0 \\
\frac{\partial V_4(x)}{\partial x_1} &= 0, \frac{\partial V_4(x)}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial V_4(x)}{\partial x_3} = bx_3^3 + \frac{1}{2}bk_{34}x_3x_4 - bk_3x_3 \\
\frac{\partial V_4(x)}{\partial x_4} &= bx_4^3 + \frac{1}{2}bk_{34}x_3x_4 - bk_4x_4 \\
\frac{\partial V_4(x)}{\partial x_5} &= 0, \frac{\partial V_4(x)}{\partial x_6} = 0 \\
\frac{\partial V_5(x)}{\partial x_1} &= 0, \dots, \frac{\partial V_5(x)}{\partial x_6} = -x_6 \\
\frac{\partial V_6(x)}{\partial x_1} &= 0, \dots, \frac{\partial V_6(x)}{\partial x_5} = cx_5^3 + \frac{1}{2}ck_{56}x_5x_6 - ck_5x_5 \\
\frac{\partial V_6(x)}{\partial x_6} &= cx_6^3 + \frac{1}{2}ck_{56}x_5x_6 - ck_6x_6
\end{aligned}$$

Полная производная от функций Ляпунова будет определяться

$$\begin{aligned}
\frac{\partial V(x)}{\partial t} &= \frac{\partial V(x)}{\partial x} \frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 \frac{\partial V_i(x)}{\partial x_j} \left(\frac{dx_i}{dt} \right)_{x_j} = -x_2^2 - (ax_1^3 + ak_{12}x_1x_2 - k_1x_1)^2 - x_4^2 - \\
&- (ax_2^3 + ak_{12}x_1x_2 - k_2x_2)^2 - (bx_3^3 + bk_{34}x_3x_4 - bk_3x_3)^2 - x_6^2 - \\
&- (cx_5^3 + ck_{56}x_5x_6 - ck_5x_5)^2 - \left(cx_6^3 + \frac{1}{2}ck_{56}x_5x_6 - ck_6x_6 \right)^2
\end{aligned} \tag{6}$$

Полная производная по времени функции Ляпунова является знакоотрицательной функцией.

Функцию Ляпунова в скалярной форме представим в виде:

$$\begin{aligned}
V_1(x_1, x_2, \dots, x_6) &= \frac{1}{4}ax_1^4 + \frac{1}{4}ak_{12}x_1^2x_2 - \frac{1}{2}ak_2x_1^2 + \frac{1}{4}ax_2^4 + \frac{1}{4}ak_{12}x_1x_2^2 - \frac{1}{2}(ak_1+1)x_2^2 + \\
&+ \frac{1}{4}bx_3^4 + \frac{1}{4}bk_{34}x_3^2x_4 - \frac{1}{2}bk_4x_3^2 + \frac{1}{4}bx_4^4 + \frac{1}{4}bk_{34}x_3x_4^2 - \frac{1}{2}(bk_3+1)x_3^2 + \\
&+ \frac{1}{4}cx_5^4 + \frac{1}{4}ck_{56}x_5^2x_6 - \frac{1}{2}ck_6x_5^2 + \frac{1}{4}cx_6^4 + \frac{1}{4}ck_{56}x_5x_6^2 - \frac{1}{2}(ck_5+1)x_5^2;
\end{aligned} \tag{7}$$

Воспользуясь леммой Морса из теорий катастроф [40], функцию Ляпунова (7) представим в виде квадратичной формы:

$$V(x_1, \dots, x_6) \approx -\frac{1}{2}ak_1x_1^2 - \frac{1}{2}ak_2x_2^2 - \frac{1}{2}bk_3x_3^2 - \frac{1}{2}(bk_4+1)x_4^2 - \frac{1}{2}ck_5x_5^2 - \frac{1}{2}(ck_6+1)x_6^2 \tag{8}$$

Условия существования положительно определенной функций Ляпунова, то есть робастной устойчивости равновесного состояния (4), получим в виде:

$$-ak_2 > 0, -(ak_1+1) > 0, -bk_4 > 0, -(bk_3+1) > 0, -ck_6 > 0, -(ck_5+1) > 0, \tag{9}$$

или

$$k_1 < -\frac{1}{a}, k_2 < 0, k_3 < -\frac{1}{b}, k_4 < 0, k_5 < -\frac{1}{c}, k_6 < 0 \quad (10)$$

Полная производная по времени от вектора-функции Ляпунова является знакоотрицательной.

По вектору градиенту построим компонентом вектор функции Ляпунова:

$$\begin{aligned} V_1(x) &= -\frac{1}{2}x_2^2, V_2(x) = \frac{1}{4}ax_1^4 + \frac{1}{4}ak_{12}x_1^2x_2 + ak_1x_1^2 + \frac{1}{4}ax_2^4 + a\sqrt{k_2}x_2^3 + \frac{1}{4}ak_{12}x_2^2x_1 - \frac{1}{2}ak_2x_2^2, \\ V_3(x) &= -\frac{1}{2}x_4^2, V_4(x) = \frac{1}{4}bx_3^4 + \frac{1}{4}bk_{34}x_3^2x_4 + bk_3x_3^2 + \frac{1}{4}bx_4^4 + b\sqrt{k_4}x_4^3 + \frac{1}{4}bk_{34}x_3x_4^2 - \frac{1}{2}bk_4x_4^2, \\ V_5(x) &= -\frac{1}{2}x_6^2, V_6(x) = \frac{1}{4}cx_5^4 + \frac{1}{4}ck_{56}x_5^2x_6 + ck_5x_5^2 + \frac{1}{4}cx_6^4 + c\sqrt{k_6}x_6^3 + \frac{1}{4}ck_{56}x_5x_6 - \frac{1}{2}ck_6x_6^2, \end{aligned}$$

Вектор-функции Ляпунова в скалярной форме представим в виде:

$$\begin{aligned} V(x_1, \dots, x_6) &= \frac{1}{4}ax_1^4 + \frac{1}{4}ak_{12}x_1^2x_2 + \frac{1}{2}(2ak_1 - 1)x_1^2 + \frac{1}{4}ax_2^4 + a\sqrt{k_2}x_2^3 + \frac{1}{4}ak_{12}x_2^2x_1 - \frac{1}{2}ak_2x_2^2 \\ &+ \frac{1}{4}bx_3^4 + \frac{1}{4}bk_{34}x_3^2x_4 - \frac{1}{2}(2bk_3 - 1)x_3^2 + \frac{1}{4}bx_4^4 + b\sqrt{k_4}x_4^3 + \frac{1}{4}bk_{34}x_3x_4^2 - \frac{1}{2}bk_4x_4^2 + \\ &+ \frac{1}{4}cx_5^4 + \frac{1}{4}ck_{56}x_5^2x_6 + \frac{1}{2}(2ck_5 - 1)x_5^2 + \frac{1}{4}cx_6^4 + c\sqrt{k_6}x_6^3 + \frac{1}{4}ck_{56}x_5x_6 - \frac{1}{2}ck_6x_6^2, \end{aligned} \quad (11)$$

Если функция (12) удовлетворяет всем условиям теоремы Морса [29] из теории катастроф, то функцию (12) можем заменить квадратичной формой. Опуская трудоемкие операции вычисления элементов матрицы Гессе, функцию (13) представим в виде квадратичной формы:

$$\begin{aligned} V(x_1, \dots, x_6) &\approx -\frac{1}{2}(2ak_1 - 1)x_1^2 + \frac{1}{2}ak_2x_2^2 + \frac{1}{2}(2bk_3 - 1)x_3^2 - \\ &- \frac{1}{2}bk_4x_4^2 - \frac{1}{2}(2ck_5 - 1)x_5^2 + \frac{1}{2}ck_6x_6^2 \end{aligned} \quad (12)$$

Условия существования положительно определенной функции Ляпунова определяются неравенствами:

$$k_1 > \frac{1}{2a}, k_2 < 0, k_3 > \frac{1}{2b}, k_4 < 0, k_5 > \frac{1}{2c}, k_6 < 0, \quad (13)$$

Заключение

Настоящая статья посвящена построению и исследованию систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости КЛА в условиях неопределенности, с подходом к построению систем управления в классе катастроф гиперболическая омбилика [8.9.10,13,14] и показано предельное увеличение потенциала робастной устойчивости системы.

Для исследования робастной устойчивости системы управления КЛА применяется новый подход, основанный на геометрической интерпретаций второго метода Ляпунова понятий устойчивости пространстве состояний

Геометрическая интерпретация позволяет представить функцию Ляпунова в виде потенциальной поверхности, а управления состояния в форме градиентной системы [11,12]. Условия существования функций Ляпунова получена в виде системы простейших алгебраических неравенств.

Список использованных источников

1 Бейсенби М.А., Абдрахманова Л.Г. Исследование систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости методом функции А.М. Ляпунова. -

Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий». – Новосибирск: 2013. – С. 22-26.

2 Мукатаев Н.С. Гиперболическая омбилика в построении систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости. - Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. Научный журнал Евразийского национального университета. – Астана, 2013. - №4(95). – Ч.2. – С. 226-231.

3 Бейсенби М.А., Ермекбаева Ж.Ж. Построение функции Ляпунова в исследовании робастной устойчивости линейных систем. - Вестник КазНТУ им. К.Сатпаева. Научный журнал Казахского национального технического университета. – Алматы, 2013. - №1. – С. 315-320.

4 Айнагулова А.С., Имамбаева А.В., Садвакасова А.У. Построение наблюдателя движения летательного аппарата (ЛА) в классе однопараметрического структурно-устойчивого отображения. - Вестник ЕНУ им.Л.Н.Гумилева. Научный журнал Евразийского национального университета. – Астана, 2013. - №4(95). – Ч.2. – С. 220-225.

5 Ускенбаева Г.А. Бейсенби М.А., Сатыбалдина Д.К. Исследование робастной устойчивости системы управления линейными объектами $m \times n$ методом функций АМ Ляпунова. - Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. - 2014. - №6 (97). - С. 117-125.

УДК 681 5 9 7558

РОБАСТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Курбангалиева Назгуль Бактыгалиевна

zhan_nazeka@mail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің магистранты, Астана қ.,
Қазақстан

Ғылыми жетекшісі – Д.Сатыбалдина

Өндіріс пен технологиялық үрдістердің жетілдіруі, шығарылатын өнімнің сапасы мен технологиялық құрал-жабдықтардың өнімділігінің өсуі автоматтандырылған электржетектеріне деген талаптардың артуын анықтады. Бұл алдымен өтпелі және орнықталған күйдегі шығыс координаттарын реттеу дәлдігін арттыруға қатысты.

Осылайша, алынатын басқару алгоритмдері мен жобалау әдістемелерінің маңызды күрделенуінсіз, сыртқы орта мен объект параметрлерінің өзгеру шартында белгіленген реттеу сапасын қамтамасыз ететін электржетек жүйелерін құру есептері бүгінгі күні өзекті болып табылады.

Дәстүрлі және робасты автоматты реттеу жүйесін (АРЖ) синтездеудің көптеп таралған әдістерін салыстыру – кейінгі кезде кең тарауға ие болған қарапайымдылық, қолайлылық пен кең мүмкіндіктерімен ерекшеленетін полиномиалды теңдеулер (ПТ) әдісін айрықша көрсетіп, содан соң оны тиімді қолдануға мүмкіндік берді.

Ротордың ағынды байланысу векторы бойынша бағытталу ($\Psi_{rx} = \Psi_r$, $\Psi_{ry} = 0$.) шарты кезіндегі асинхронды қозғалтқыштың (АК) теңдеулер жүйесін интервалды түрде келтіреміз [1,2,3,4,5]:

1) статор тізбектерінің теңдеуі

$$\begin{aligned} u_{sx} &= \tilde{R}_{se} (\tilde{T}_{se} s + 1) \cdot i_{sx} - \omega_{\psi_r} L_{se} i_{sy} - \frac{k_r \psi_r}{\tilde{T}_r}, \\ u_{sy} &= \tilde{R}_{se} (\tilde{T}_{se} s + 1) \cdot i_{sy} - \omega_{\psi_r} L_{se} i_{sx} + z_p \omega_1 k_r \psi_r; \end{aligned} \quad (1)$$

2) ротор тізбектерінің теңдеуі