

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СИЛЬВЕСТРА В ЗАДАЧЕ АДАПТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ НЕИЗВЕСТНЫХ ВНЕШНИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Заморин Н.С. (Университет ИТМО), Хоанг Дык Лонг (Университет ИТМО)  
Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Дударенко Н.А.  
(Университет ИТМО)

**Аннотация.** Рассматривается проблема построения аналитического решения уравнения типа Сильвестра в задаче адаптивной компенсации неизвестных внешних гармонических возмущений. Аналитическое решение строится в общем виде относительно матрицы преобразования подобия, которая для случая гармонического воздействия является функцией частоты этого воздействия. Полученное решение может быть использовано с целью идентификации параметров линейной непрерывной системы, сочетание которых приводит к вырожденному решению уравнения Сильвестра.

**Введение.** Задача адаптивной компенсации неизвестных возмущающих воздействий является актуальной фундаментальной проблемой, решению которой посвящено большое количество научных трудов, обзор которых хорошо представлен в современной литературе [1, 2]. В данной работе уделяется внимание задачам компенсации внешних возмущений для класса линейных непрерывных систем типа «многомерный вход-многомерный выход», описание которых задается гармоническим сигналом или смещенным гармоническим сигналом. Типичной формой представления внешнего возмущения является модель в форме линейной регрессии, позволяющая свести сигнальную неопределенность сигнала к параметрической [1]. Такая модель может быть использована в задачах идентификации, адаптивного наблюдения и адаптивного управления техническими объектами, функционирующими в условиях неизвестных внешних возмущений. В многомерных системах могут возникать ситуации, когда в силу взаимосвязанности каналов возникает эффект взаимной компенсации мод в наблюдателе возмущающего воздействия, что в математической постановке приводит к получению вырожденного решения уравнения Сильвестра [3]. В данной работе предложены аналитические решения уравнения типа Сильвестра, которые в общем виде относительно матрицы преобразования подобия для случаев гармонического и смещенного гармонического возмущающих воздействий являются функцией частоты этих воздействий [4]. Полученные результаты могут быть использованы для идентификации параметров линейной системы, сочетание которых приводит к вырожденному решению уравнения Сильвестра.

**Основная часть.** С целью получения аналитического решения уравнения типа Сильвестра рассматривается линейная непрерывная система типа «многомерный вход-многомерный выход», функционирующая в условиях внешних неизвестных возмущающих гармонических воздействий. Компенсация неизвестных возмущающих воздействий осуществляется с помощью алгоритмов адаптивной компенсации параметризованного возмущения при управлении линейным объектом по выходу. Исходя из предположения, что все составляющие возмущающего сигнала независимы друг друга, они могут рассматриваться как выходы независимых систем второго (для гармонического сигнала) или третьего (для смещенного гармонического сигнала) порядка, что позволяет представить структурные матрицы системы в блочно-диагональном виде [4]. Аналитические решения уравнения типа Сильвестра для различных форм задания гармонических возмущающих воздействий формируются путем последовательной подстановки матричных компонентов системы в уравнение типа Сильвестра. Как результат, получены аналитические решения уравнения типа Сильвестра в общем виде относительно матрицы преобразования подобия, которая является функцией частоты возмущающего воздействия.

**Выводы.** Получены аналитические выражения для решения уравнения типа Сильвестра, используемого в задачах адаптивной компенсации неизвестных внешних гармонических и

смещенных гармонических возмущающих воздействий. Аналитические решения сконструированы в общем виде относительно матрицы преобразования подобия, которая для случаев рассматриваемых типов возмущений является функцией частоты соответствующего гармонического сигнала. В дальнейшем, предполагается использовать полученные результаты для идентификации параметров линейной системы, сочетание которых приводит к вырожденному решению уравнения Сильвестра.

**Список использованных источников:**

1. Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А. Адаптивное управление возмущенными системами: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 126с.
2. Nikiforov V.O., Gerasimov D.N. Adaptive regulation: reference tracking and disturbance rejection. Vol. 491. Springer Nature, 2022. 359p.
3. Дударенко Н.А. Алгебраические проблемы аналитического исследования возможного вырождения сложной динамической системы // Материалы конференции "Управление в технических системах", УТС-2010, 2010, с.27-31.
4. Дударенко Н.А., Ушаков А.В., Акунова А.М. Проблемы вырождения сложных систем: технология контроля при гармоническом и стохастическом экзогенных воздействиях // Современные технологии: Сб. науч. статей / Под ред. проф. С. А. Козлова. СПб: Изв. СПбГУ ИТМО (ТУ), 2004, с.128-147.