

стеми конвенційних залізниць, зокрема «Технічні специфікації прикладних програмних забезпечень для вантажних забезпечень – TAF TSI», а саме [1]:

- Consignment Note data – данні з накладної;
- Path Request – замовлення траси;
- Train Preparation – приготування поїзда;
- Train Running Forecast – передбачуване переміщення поїзда;
- Service Disruption Information – інформація про обслуговування перебоїв;
- Train Location – місцеположення поїзда;
- Wagon/Intermodal unit ETI/ETA – передбачуваний час обміну інтермодальної одиниці;
- Wagon Movement – перевезення вагона;
- Interchange Reporting – рапортування про обмін;
- Data Exchange for Quality Improvement – обмін даними для поліпшення якості;
- The Main Reference Data – головні референційні дані;
- Various Reference Files and Databases – різні референційні зведення і бази даних;
- Electronic Transmission of Documents – електронна передача документів;

Networking & Communication – мережеві підключення і комунікація.

Таким чином реалізація інтеперабельності на різних рівнях управління поїздотоками дозволить у повному обсязі досягнути значних результатів щодо підвищення якості перевезень. Застосування інтеперабельних технологій у просуванні вантажів міжнародними транспортними коридорами робить значний крок у розвиток Євроінтеграції і виходу залізниць України на світові ринки у якості рівного партнера.

Висновки

При застосуванні зазначених підходів буде досягнуто реалізацію інтеперабельної технології, яка дозволить: зменшити експлуатаційні витрати на перевезення вантажів в межах МТК, прискорити доставку вантажів, забезпечити дотримання логістичних принципів при перевезеннях як межах країни так і у міждержавному сполученні, покращити виконання якісних та кількісних показників роботи Укрзалізниці.

Література

1. Погребські Г. Функції TAF TSI (Порядок планування і приготування поїзду) [Текст] / Г. Погребські // Залізничний транспорт України, 2007. - Вип. № 2. – С. 41-45.

Запропоновано знаходження оптимального управління проектом на основі подоби із системою управління руху галсами. Отримані аналітичні вирази для крайового завдання на основі розв'язання рівняння Риккати

Ключові слова: проект, галси, оптимальне управління, Риккати

Предложено нахождение оптимального управления проектом на основе подобия с системой управления движения галсами. Получены аналитические выражения для краевой задачи на основе решения уравнения Риккати

Ключевые слова: проект, галсы, оптимальное управление, Риккати

Offered finding of optimum management project on base of the resemblance with managerial system of the motion tack. Analytical expressions are received for marginal problem on base of the decision of the equation Rikkati

The Keywords: project, tack, optimum governing, Rikkati

УДК 979.14:005.8

**ОПТИМАЛЬНОЕ
УПРАВЛЕНИЕ
ДВИЖЕНИЕМ
СИСТЕМЫ
ГАЛСАМИ НА
ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ
УРАВНЕНИЯ
РИККАТИ**

П.А. Тесленко

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра менеджмента и маркетинга
Одесская государственная академия строительства
и архитектуры
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, Украина, 65029
Контактный тел.: 067-940-04-51
E-mail: teslenko@pisem.net

Постановка проблемы и анализ последних исследований

Управление движением системы по заранее спланированной и утвержденной траектории можно разделить на две большие группы. Первая - это управление на опережение или проактивное управление [1], вторая группа - это классическое управление по результатам [2], которые будут рассматриваться в данной статье. Развитие организационно-технической системы от замысла до получения продукта проекта происходит как правило в агрессивной внешней среде, что неизбежно связано с возникновением и преодолением различного рода сопротивлений движению. Такое сопротивление есть результат воздействия сил внутри системы и за ее пределами. Часть этих сил компенсируется за счет конструкции самой системы, часть — за счет управляющих воздействий, при этом определенная часть таких сил будет некомпенсированной, что вызовет отклонение от планово-оптимальной траектории и будет выражено в виде превышения бюджета, увеличения сроков реализации проекта и т.п. Следовательно, задачей управления будет выработка управляющего воздействия для возврата на планово-оптимальную траекторию. Следует отметить, что ввиду многомерности пространства переменных, в которых существует система [3], количество возможных управляющих воздействий будет множеством, из которых необходимо выбрать единственное оптимальное по определенному критерию на данный момент времени в конкретных условиях внешней среды.

Данная статья является продолжением исследований возможности переноса подходов управления парусником, движущимся галсами против ветра, на управление проектом [4-8]. Нерешенной задачей остается построения механизма формирования управляющего воздействия, которое оптимальным образом вернет систему на планово-оптимальную траекторию развития.

Цель статьи

Исследование возможности построения оптимального управляющего воздействия для исполнительных механизмов системы в случае отклонения от планово-оптимальной траектории на основе решения уравнения Риккати.

Основная часть исследований

Задача управления движением парусника галсами в соответствии с теорией оптимального управления [2] может быть разделена на несколько этапов.

1 этап — формирование модели системы "парусник", с целью выявления сил, действующих как внутри, так и за пределами данной системы [3,4].

2 этап — проектирование траектории движения парусника галсами для достижения цели, поставленной перед системой. Как подэтап, может рассматриваться нахождение оптимальной траектории с учетом выявленных конкретных условий, а также возможных рисков при достижении поставленной цели [5,6].

3 этап — формируется по результатам первого и второго этапов и заключается в нахождении управляющего воздействия для получения возможности двигаться по оптимальной траектории [7].

4 этап — это непосредственное движение по оптимальной траектории, в которой задача управления движением галсами сведена к задаче оптимального управления центром тяжести парусника.

Решение такой задачи заключается в отслеживании текущих координат центра масс парусника и сравнение их с планово-оптимальной траекторией. В том случае, когда текущие координаты центра масс парусника не совпадают с координатами планово-оптимальной траектории для данного момента времени, необходимо сформировать управляющее воздействие, которое возвратит центр масс парусника на планово-оптимальную траекторию. Причем упомянутое управляющее воздействие также должно быть оптимальным.

Данная задача сводится к нахождению функции управления движением, когда известно следующее:

1. объект управления описывается системой дифференциальных уравнений, полученной в [8, 9]:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 = -k_1^n z_2 + k_2^n v_x + \xi_x^1 \\ \dot{z}_3 = z_4 \\ \dot{z}_4 = -k_1^n z_4 + k_2^n v_y + \xi_y^1 \end{cases} \quad (1)$$

где: $z_1 = x_\delta$; $z_2 = \dot{x}_\delta$; $z_3 = y_\delta$; $z_4 = \dot{y}_\delta$; $v_x = u_{\delta x}$; $v_y = u_{\delta y}$;

управление считается оптимальным в том случае, когда на нем достигается минимума функционал (2) [10].

Для применения принципа максимума Понтрягина и формирования необходимого функционала [10] преобразуем систему дифференциальных уравнений (1) в виде

$$\dot{\bar{z}} = A(t)\bar{z} + B(t)\bar{v} + C(t)\bar{\xi}, \quad (2)$$

где вектор $\bar{z} = (z_1; z_2; z_3; z_4)$ определяет фазовые коор-

динаты отклонений текущих координат центра тяжести от заданного планового движения парусника, матрица $A(t)$ является квадратной матрицей преобразований фазовых координат порядка 4×4 , вектор $\bar{v}' = (v_1; v_2)$ определяет вектор управляющих воздей-

ствий на центр тяжести парусника, матрица $B(t)$ порядка 4×2 представляет собой матрицу преобразований вектора управляющих воздействий, а матрица-столбец $C(t)$ представляет вектор возмущений. Таким образом матрицы A , B и C формируются исключительно с учетом свойств системы (1).

Минимизируемый функционал Φ определяется формулой

$$\begin{aligned} \hat{O} = 0,5 \langle \bar{z}(T), P\bar{z}(T) \rangle + 0,5 \int_{t_0}^T [\langle \bar{z}(t), Q(t)\bar{z}(t) \rangle + \\ + \langle \bar{v}(t), R(t)\bar{v}(t) \rangle] dt \end{aligned} \quad (3)$$

В последней формуле матрицы P и Q(t) положительно полуопределенные, а матрица R(t) – положительно определенная матрица.

Теоретически показано [10, 11], что в такой постановке оптимальное управление существует и определяется равенством

$$\dot{v}(t) = -R^{-1}(t)B'(t)K(t)\bar{z}(t), \tag{4}$$

где симметричная матрица K(t) размера 4 × 4 является решением уравнения Риккати

$$\dot{K}(t) = -K(t)A(t) - A'(t)K(t) + K(t)B(t)R^{-1}(t)B'(t)K(t) - Q(t), \tag{5}$$

удовлетворяющим граничному условию

$$K(T) = P \tag{6}$$

Отметим, что в данном случае формула (4) позволяет записать векторное уравнение (2) в виде

$$\dot{\bar{z}}(t) = [A(t) - B(t)R^{-1}(t)B'(t)K(t)]\bar{z}(t) \tag{7}$$

Если к нему добавить начальное условие $\bar{z}(t_0) = \bar{z}_0$,

тогда, решая последнее уравнение, можно найти точную зависимость искомого вектора отклонений от времени.

Необходимо отметить, что при нулевых начальных условиях для уравнения (7) его решением должна быть тождественно нулевая функция. Это означает, что при отсутствии отклонений от запланированной траектории движения оптимальное управление должно равняться нулю.

Рассмотрим методику решения задачи поиска оптимального управления с помощью уравнения Риккати при конкретно заданных матрицах A, B, C, P, Q, R.

Элементы матриц A и B принимают следующие значения: $a_{12} = a_{34} = 1; a_{22} = a_{44} = -k_1^n(t); b_{21} = b_{42} = k_2^n(t)$. Все другие элементы исходных матриц приняты равными нулю.

$$A(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -k_1^n(t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -k_1^n(t) \end{bmatrix} \quad B(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k_2^n(t) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & k_2^n(t) \end{bmatrix}$$

$$C(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Матрицы P, Q, R определяются так. Диагональные элементы матрицы P равны соответственно 1,2,3,4, а недиагональные равны нулю.

$$Q(t) = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \end{bmatrix}; \quad R(t) = 0,5 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{8}$$

Симметричная матрица K(t) порядка 4 × 4 ищется в виде

$$K(t) = \| \| k_{ij}(t) \| \|_4 \tag{9}$$

Анализ выше приведенных формул позволяет сделать вывод о том, что главным этапом решения задачи является составление уравнения Риккати. Так как в общем случае уравнения Риккати имеет вид (5) для его составления при указанных матрицах достаточно найти те матрицы, которые записаны в указанном уравнении.

Находим их в следующей последовательности.

Шаг 1. Находим обратную матрицу для R(t).

$$R^{-1}(t) = 2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Шаг 2. Находим транспонированную матрицу по отношению к B(t).

$$B'(t) = \begin{bmatrix} 0 & k_2^n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_2^n \end{bmatrix}$$

Шаг 3. Находим произведение трех матриц

$$B(t)R^{-1}(t)B'(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k_2^n & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & k_2^n \end{bmatrix} 2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & k_2^n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_2^n \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (k_2^n)^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (k_2^n)^2 \end{bmatrix}$$

Шаг 4. Находим произведения K(t)A(t) и A'(t)K(t) матриц:

$$K(t)A(t) = \begin{bmatrix} 0 & k_{11}(t) - k_1^n k_{12}(t) & 0 & k_{13}(t) - k_1^n k_{14}(t) \\ 0 & k_{21}(t) - k_1^n k_{22}(t) & 0 & k_{23}(t) - k_1^n k_{24}(t) \\ 0 & k_{31}(t) - k_1^n k_{32}(t) & 0 & k_{33}(t) - k_1^n k_{34}(t) \\ 0 & k_{41}(t) - k_1^n k_{42}(t) & 0 & k_{43}(t) - k_1^n k_{44}(t) \end{bmatrix}$$

$$A'(t)K(t) = \begin{bmatrix} k_{12}(t) & -k_1^n k_{12}(t) & k_{14}(t) & -k_1^n k_{14}(t) \\ k_{22}(t) & -k_1^n k_{22}(t) & k_{24}(t) & -k_1^n k_{24}(t) \\ k_{32}(t) & -k_1^n k_{32}(t) & k_{34}(t) & -k_1^n k_{34}(t) \\ k_{42}(t) & -k_1^n k_{42}(t) & k_{44}(t) & -k_1^n k_{44}(t) \end{bmatrix}$$

Шаг 5. Находим произведение :

$$K(t)B(t)R^{-1}(t)B'(t)K(t)$$

$$K(t)B(t)R^{-1}(t)B'(t)K(t) =$$

$$= 2(k_2^n)^4 \begin{bmatrix} k_{12}(t)k_{21} + k_{14}k_{41} & k_{12}k_{22} + k_{14}k_{42} & k_{12}k_{23} + k_{14}k_{43} & k_{12}k_{24} + k_{14}k_{44} \\ k_{22}(t)k_{21} + k_{24}k_{41} & k_{22}k_{22} + k_{24}k_{42} & k_{22}k_{23} + k_{24}k_{43} & k_{22}k_{24} + k_{24}k_{44} \\ k_{32}(t)k_{21} + k_{34}k_{41} & k_{32}k_{22} + k_{34}k_{42} & k_{32}k_{23} + k_{34}k_{43} & k_{32}k_{24} + k_{34}k_{44} \\ k_{42}(t)k_{21} + k_{44}k_{41} & k_{42}k_{22} + k_{44}k_{42} & k_{42}k_{23} + k_{44}k_{43} & k_{42}k_{24} + k_{44}k_{44} \end{bmatrix}$$

Шаг 6. Составляем уравнение (5) путем сложения (вычитания) полученных матриц.

Так только первый элемент матрицы $\dot{K}(t) - k_{11}'(t)$

будет иметь достаточно громоздкий вид (10), что исключает возможность приведения подробного описания в формате статьи

$$\left[\dot{k}_{11}(t) \right] = -0 - k_{12}(t) + k_{12}(t)k_{21} + k_{14}k_{41} - 2. \quad (10)$$

Шаг 7. Записываем краевое условие (6) при $T=4$.

$$K(T) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{vmatrix} \quad (11)$$

Два последних равенства (10), (11) определяют краевую задачу, которую можно решить с помощью Матю Lab, т.е. найти матрицу $K(t)$ — решение уравнения Риккати. Подставляя полученные результаты (6) при любом начальном условии, мы найдем вектор $\bar{z} = (z_1; z_2; z_3; z_4)$ из которого получим управляющее воз-

действие $u(t)$, которое, в свою очередь, позволит найти угол поворота штурвала и угол поворота парусов [8]

для продвижения по оптимальной траектории путем устранения ненулевых отклонений.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В исследовании приведена методика расчета оптимального управления движением галсами в отклонениях с использованием уравнения Риккати. Из приведенного примера видна последовательность использования ранее полученных результатов.

Имея в виду перспективу дальнейших исследований, необходимо обратить внимание на то, что с теоретической точки зрения момент завершения управления не обязательно должен считаться известным. В таком случае возникает потребность приспособления к указанной ситуации. Однако в указанном случае требуется внести коррективы в постановочную часть задачи управления.

Литература

1. Бушуева Н.С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития: монография. — К.: Наук. світ, 2007. — 199 с.
2. Шимко П. Д. Оптимальное управление экономическими системами. [Текст] / П. Д. Шибко. Учеб. пособие. — СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2004. — 240 с.
3. Тесленко П.А. Траектория развития проекта как организационно-технической системы в многомерном пространстве переменных [Текст] / П.А. Тесленко, В.Д. Гогунский // Тези доповідей VI міжнародної конференції "Управління проектами у розвитку суспільства" // Відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. — К.: КНУБА, 2009. — С. 188 – 189.
4. Тесленко П.А. Стратегия и тактика развития проектов на основе закона Тернера-Руденко [Текст] / П.А.Тесленко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. — №1(29). — С. 98–105.
5. Тесленко П.А. Модель движения парусника галсами как обоснование закона Тернера-Руденко о развитии проектов [Текст] / П.А.Тесленко, В.Д. Гогунский // Управління проектами: Стан та перспективи: Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції [Текст] / Відповідальний за випуск К.В.Кошкін. — Миколаїв: НУК, 2009. — С. 52 – 53.
6. Тесленко П.А. Модель управления движения галсами на основе закона Тернера-Руденко [Текст] / П.А.Тесленко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. — №2(30). — С. 113–118.
7. Тесленко П.А. Составляющие и ограничения управления проектом по аналогии движения парусника галсами [Текст] / П.А.Тесленко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. — №4(32). — С. 16–21.
8. Гогунский В.Д. Формирование функции управляющих воздействий системы управления проектами на основе подобия с системой движения галсами [Текст] / В.Д. Гогунский, П.А.Тесленко // Восточно-европейский журнал передовых технологий – Харьков, 2010. — № 1/3(43). — С. 22 – 24.
9. Тесленко П.А. Оптимальное управление организационно-техническими системами [Текст] / П.А. Тесленко, В.Д. Гогунский // Тези доповідей VII міжнародної конференції "Управління проектами у розвитку суспільства" // Відповідальний за випуск С.Д.Бушуєв. — К.: КНУБА, 2010. — С. 197 – 199.
10. Атанс М. Оптимальное управление [Текст] / М. Атанс, П.Л. Фалб. Пер. с англ. Под. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.И. Топчева. — М.: «Машиностроение», 1968. — 764 с.
11. Тесленко П.А. Графоаналитическая оптимизация управления проектом на основе принципа максимума Понтрягина [Текст] / П.А. Тесленко, В.Д. Гогунский // Оптимізація виробничих процесів: Зб.наук.пр. – Севастополь: Вид-во Севастоп. нац. техн. ун-та., 2010. — Вип. 12. — С. 88 – 92.