

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.439

В. А. ПОЛЯКОВ<sup>1\*</sup>, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (0562) 32 30 55, эл. почта p\_v\_a\_725@mail.ru

<sup>1</sup>Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, ул. Писаржевского, 5, Днепропетровск, Украина, 49005, тел. +38 (0562) 32 30 55, эл. почта p\_v\_a\_725@mail.ru

### ДИНАМИЧЕСКАЯ ДОСТАТОЧНОСТЬ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

**Цель.** Основным критерием потребительской оценки магнитолевитирующего поезда является качество его механического движения. Это движение реализуется в непредсказуемой обстановке и для сохранения целенаправленности должно приспосабливаться к ней. Такая адаптация возможна лишь в пределах динамической достаточности системы. Под достаточностью понимается наличие у системы ресурсов, которые позволяют реализовывать ее требуемые движения без несоблюдения актуальных ограничений. Поэтому наличие таких ресурсов является необходимым условием сохранения искомой целенаправленности динамики поезда, а верификация упомянутой достаточности – важнейшим компонентом исследования этой динамики.

**Методика.** В работе использованы методы теории множеств. Найдены пространства желаемой, а также фактической достижимости поезда. Они считаются динамически достаточными в зонах перекрытия указанных пространств. **Результаты.** В рамках принятой трактовки динамической достаточности поезда, верификация ее наличия, а также запаса (или дефицита) сохранения выполнена путем нахождения и апостериорной оценки таких зон перекрытия. Оперативно – непосредственно в процессе движения – это реализуемо на БЦВМ поезда с использованием, например, системы компьютерной математики Mathematica. Она обладает обширными возможностями высокоэффективного и в то же время – относительно низкоресурсного информационного манипулирования. Эффективность использования созданной методики проиллюстрирована на примере исследования режима разгона экипажа. Расчет выполнен с использованием построенной компьютерной модели взаимодействия автономной тяговой электромагнитной подсистемы артефакта с его механической подсистемой. **Научная новизна.** Разработана методика верификации динамической достаточности высокоскоростного магнитолевитирующего поезда. Методика является высокоэффективной, обеспечивает достаточную визуальность и обладает умеренной ресурсоемкостью использования (особенно в случаях не слишком высоких размерностей пространств состояний и принятия решений системы). **Практическая значимость.** Методика с успехом может использоваться в процессе динамических исследований, в том числе магнитолевитирующих поездов.

*Ключевые слова:* магнитолевитирующий поезд; динамическая достаточность; ситуации движения; параметры ситуации; параметры решения

#### Введение

Магнитолевитирующий поезд (МЛП) является большой сложной динамической системой [2], основным критерием результирующей потребительской оценки которой является качество движения ее механической подсистемы

[5]. Это движение реализуется в условиях непредсказуемого изменения обстановки [6] и для сохранения целенаправленности должно приспосабливаться к ней [7]. Двигательная задача МЛП по сути своей представима синтетическим единством подзадач перемещения между

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

априори заданными точками пути при соблюдении некоторых (в идеале – экстремальных) законов, а также отсутствия наездов на препятствия и иных аварийных ситуаций. Первая из указанных подзадач обычно именуется навигационной, а вторая – подзадачей безопасности движения. Навигационная подзадача МЛП разрешима с использованием терминальных [8], а также дифференциально-игровых [4] принципов управления. При решении же подзадачи безопасности движения рационально применять метод линий безопасности [3].

**Цель**

Адаптация движения поезда к обстановке возможна лишь в пределах динамической достаточности (ДД) системы, под которой понимается [3] ее обеспеченность ресурсами, удовлетворяющая потребности натурной реализации требуемых движений без нарушения актуальных ограничений. Поэтому наличие таких ресурсов в общем случае является абсолютно необходимым условием фактического сохранения искомой целенаправленности динамики МЛП, а верификация упомянутой ДД – важнейшим компонентом исследования такой динамики.

**Методика**

Движение МЛП, как правило, происходит в типовом эксплуатационном (тяга, выбег, торможение) либо в нештатном, аварийном режиме. При этом каждая реализация такого движения в общем случае может различаться от других:

- исполняемым режимом, возможной внешней и внутренней обстановкой [3], а поэтому – пространством желаемой достижимости (ПЖД);

- наличными динамическими ресурсами системы, а поэтому – пространством ее потенциальной достижимости (ППД) [9];

- актуальными запретами, определяющими директивные ограничения пространства достижимости (ОПД).

В таком случае, в соответствии с принятой трактовкой ДД МЛП, верификация наличия такой достаточности, а также запаса (или дефицита) ее сохранения может быть выполнена путем соотнесения перечисленных трех пространств. Для этого минимально достаточна пятиэлементная структура.

Базовыми, провайдерными элементами этой структуры должны являться: индикатор, экспозитор и лимитор. Их функциональное предназначение следующее:

- индикатор в результате анализа режима движения, а также его внешней и внутренней обстановки выявляет и предъявляет к сравнению ПЖД системы, отображенное в пространство параметров ее решений (ППР) [3], требуемых для осуществления желаемых движений;

- экспозитор, исходя из наличных динамических ресурсов системы, строит и предъявляет к сравнению ППД поезда, также отображенное в ППР;

- лимитор, анализируя все компоненты ситуации движения, выявляет и передает для дальнейшего использования ОПД, которые, как правило, изначально формируются относительно элементов ППР.

Далее ППД должно быть соотнесено с ОПД. Это – функциональное предназначение сегрегатора. В результате от ППД отделяются запрещаемые ОПД части и получается пространство фактической достижимости (ПФД) МЛП.

Наконец, компаратор, соотнося ПФД и ПЖД поезда, констатирует наличие (или отсутствие) его ДД, а также определяет значение величины  $R$  – запаса (или дефицита) сохранения такой достаточности – в различных областях ППР системы.

В любой ситуации движения МЛП динамически достаточен лишь в зонах, где ПЖД пересекается ПФД. Оперативная верификация такой достаточности необходима в общем случае непосредственно в процессе движения – с использованием БЦВМ поезда. Поэтому синтетическое единство адекватности и минимально возможной ресурсоемкости конструктивного представления упомянутых пространств (ПЖД, ППД, ОПД и, как следствие, ПФД), а также эффективности оперирования ими весьма важно для корректного исследования как каждой отдельной реализации процесса движения МЛП, так и ансамблей таких процессов.

Множество элементов каждого из пространств, детерминирующих ДД поезда, как правило, задается не континуально-функционально, а дискретно-параметрически – на дискретной шкале какого-либо удобного параметра

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

$$p \in [k \cdot h, (k+1) \cdot h \quad \forall k \in \overline{0, \Lambda}],$$

$$\Lambda = \text{int} \left( (p_T - p_S) \cdot h^{(-1)} \right), \quad (1)$$

где  $h$  и  $p_S, p_T$  – шаг дискретизации этого параметра, а также его начальное и терминальное на интервале построения движения значения. Для МЛП в качестве такого параметра удобно, видимо, принять текущее время либо расстояние, пройденное фиксированной индикаторной точкой поезда на таком интервале. Тогда рассматриваемые множества могут быть представлены многомерными массивами, атомарные списки которых в неизменной позиции содержат значения параметра  $p$ , а в иных позициях – соответствующие значения фазовых координат системы

$$x(\bullet) = \{x(p) \quad \forall p \in [p_S, p_T]\} \quad (2)$$

– для описания процесса движения в ее пространстве состояний (ПС), либо параметров решений

$$\gamma(\bullet) = \{\gamma(p) \quad \forall p \in [p_S, p_T]\} \quad (3)$$

– для описания того же процесса в ППР. Здесь и далее любая функция с точкой на месте аргумента подразумевает всю совокупность ее возможных значений в целом. В таком случае лексикографически описанные операции с пространствами, ведущие к верификации наличия ДД поезда, а также к определению величины  $R$ , количественно характеризующей запас (либо дефицит) сохранения такой достаточности, могут быть редуцированы до манипуляций с многомерными массивами, адекватно представляющими указанные пространства.

Ряд современных систем компьютерной математики (СКМ) и, в том числе, мировой лидер среди таких систем для ПК – Mathematica [11, 12, 13, 14] обладают обширными возможностями высокоэффективного и в то же время относительно низкоресурсного выполнения таких манипуляций. Поэтому информационные преобразования, направленные на экстермпоральную верификацию ДД МЛП, рационально выполнять в рамках этой СКМ. Перейдем далее к абрисному очерчиванию стратегии указанной верификации.

На стадии информационного создания МЛП для всех предвидимых внешних и внутренних

обстановок, а также возможных режимов движения, его ПЖД и ОПД должны быть представлены массивами описанной структуры. Такие массивы следует разместить в ДЗУ БЦВМ поезда. При этом должна быть предусмотрена возможность осуществления оперативного двустороннего, при необходимости – неоднозначного, отображения

$$X \leftrightarrow \Gamma \quad (4)$$

между ПС МЛП

$$X = \{x(\bullet)\} \quad (5)$$

и его ППР

$$\Gamma = \{\gamma(\bullet)\}. \quad (6)$$

Информационный массив, имеющий вновь ту же многоуровневую структуру и представляющий ППД артефакта, должен размещаться также в ДЗУ БЦВМ и оперативно заполняться в каждой реализовавшейся ситуации движения, исходя из наличных динамических ресурсов системы, а также анализа всех компонентов такой ситуации. Одним из основных элементов информационной подсистемы, используемой для позиционного построения описываемого массива, должна являться оперативно интегрируемая в опережающем масштабе параметра  $p$  модель динамики поезда. Такая модель должна синтетично сочетать в себе свойства достаточной простоты – для создания возможности упомянутого ее опережающего интегрирования и в то же время должной информационной корректности – для достаточно адекватного и полного описания движения поезда.

После (заблаговременного или оперативно – в зависимости от типа) заполнения массивов, представляющих ПЖД, ОПД, а также ППД, актуальными данными такие массивы оказываются пригодными для использования в процессе эмуляции описанных операций с перечисленными пространствами. Таким образом, в процессе осуществления символьных операций с этими массивами при каждом дискретном значении параметра  $p$ , в зависимости от необходимости, имеется возможность поординатного (в ПС или в ППР) соотнесения элементов упомянутых пространств, а также (с учетом метрик соответствующих пространств) нахождения расстояний между таки-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ми элементами. Это, очевидно, является достаточным алгоритмическим базисом для оперативного выполнения верификации ДД поезда, а также нахождения значений величины  $R$ . При этом положительные значения последней величины свидетельствуют о сохранении такой достаточности, а отрицательные – о ее отсутствии.

В целях радикального сокращения объемов требуемых информационных преобразований, для всех рассматриваемых пространств, полагая их выпуклыми, априорно, до проведения операций соотнесения, могут выделяться точки, лежащие на границах таких пространств. После этого все дальнейшие операции соотнесения могут выполняться только для таких выделенных точек.

Выделение точек указанного вида следует основывать на информационных возможностях СКМ, в рамках которой реализуется глобальный алгоритм построения движения МЛП и, в частности, экстемпоральной верификации его ДД. В дополнение к этому могут быть, при необходимости, учтены следующие соображения. Сечение любого из пространств  $A$  плоскостью  $p = \tau = \text{const}$  представляет собой выпуклое множество  $A_\tau$  в пространстве (2) или (3).

Границы области допустимых отклонений  $A_\tau$  в каждой конкретной ситуации движения назначаются исходя из практических нужд. Предположение о выпуклости такой области в подавляющем большинстве случаев вполне естественно и практически не сужает возможности применения такого способа описания. В то же время, оно позволяет задать множество  $A_\tau$  как пересечение полупространств [1], например, пространства (2)

$$A_\tau = [ x(p) : l' \cdot x(p) \leq \rho(l, p); \\ \|l\| = 1, p = \tau ], \quad (7)$$

ограниченных опорными гиперплоскостями

$$l' \cdot x(\tau) = \rho(l, \tau). \quad (8)$$

В выражениях (7) и (8) введены дополнительные обозначения:  $l$  и  $l'$  – произвольно направленный единичный вектор и он же транспонированный;  $\rho$  – полярное расстояние от начала координат до опорной гиперплоскости.

Перебор возможных направлений  $l^i$  позволяет построить область  $A_\tau$  как огибающую этих гиперплоскостей. Если ограничиться конечным числом направлений  $l^i$ , получается аппроксимация границ области  $A_\tau$  выпуклым полиэдром. Далее, варьирование параметра  $p$  согласно (1) позволяет осуществлять моделирование эволюции упомянутого полиэдра, то есть, в итоге, – дискретную аппроксимацию пространства  $A$ . Таким образом, опорная функция  $\rho(l, p)$ , определенная на всех  $l, \|l\| = 1$ , и  $\forall p \in [p_S, p_T]$  однозначно описывает множество всех точек, лежащих на границе пространства  $A$ . Поэтому выражения (7) и (8) могут быть положены в основу алгоритмического выделения точек, обладающих указанным свойством в отношении любого из рассматриваемых пространств.

В рамках того же подхода может быть построен и алгоритм определения расстояний между точками множеств. Это возможно, исходя из того, что любая траектория (представляющая реальное или желаемое движение поезда либо какое-либо ограничение этого движения) при фиксированном значении параметра  $p = \tau = \text{const}$  характеризуется, например, вектором  $x(\tau)$ , который может быть спроецирован на направление единичного вектора  $l$  в ПС артефакта. Значение такой проекции определяется скалярным произведением  $l' \cdot x(\tau)$ , а удаленность указанного вектора от соответствующей опорной гиперплоскости – функцией  $\rho(l, \tau)$ . Поэтому отношение

$$l' \cdot x(\tau) / \rho(l, \tau) = \varepsilon(l, \tau, x(\tau)) \quad (9)$$

может служить мерой относительной близости точки  $x(\tau)$  к опорной гиперплоскости множества  $A_\tau$ , нормальной к вектору  $l$ . Тогда перебор возможных направлений  $l$  позволяет найти меру близости точки  $x(\tau)$  к любой из опорных гиперплоскостей, то есть – к границе множества  $A_\tau$ :

$$\varepsilon(\tau, x(\tau)) = \max_l \varepsilon(l, \tau, x(\tau)). \quad (10)$$

Наконец, перебор возможных значений  $p$

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

согласно (1) дает возможность оценить близость любой точки процесса  $x(\bullet)$  к границе области  $A$ :

$$I(x(\bullet)) = \max_p \varepsilon(p, x(p)) = \max_{l, p} (l' \cdot x(p) / \rho(l, p)). \quad (11)$$

Альтернативой этому подходу является аппроксимация множеств с использованием метода последовательных приближений или классом областей фиксированной канонической формы, зависящей от ограниченного числа параметров (как правило, эллипсоидов) [10].

## Результаты

Эффективность использования созданной таким образом методики верификации ДД МЛП проиллюстрирована на примере исследования режима разгона его экипажа. Расчет проведен с использованием построенной компьютерной модели взаимодействия автономной тяговой электромагнитной подсистемы артефакта с его механической подсистемой. В качестве параметров решения системы приняты актуальные для рассматриваемого режима скорость экипажа  $sp$  и сила тяги его линейного синхронного двигателя (ЛСД)  $tf$ . Результаты исследования приведены на рис. 1.

На этой иллюстрации использованы следующие легенды:

– более толстой сплошной линией нанесена граница ПЖД экипажа, являющаяся в данном случае графиком тяговой характеристики его ЛСД, подлежащей реализации для осуществления движения, желательного в сложившейся ситуации;

– более тонкой сплошной линией нанесена граница ППД экипажа, являющаяся графиком упомянутого типа характеристики ЛСД, которую он потенциально может реализовать в рассматриваемой ситуации;

– пунктирными линиями нанесены ОПД:

– по механической нагрузке криомодулей экипажа – линией, имеющей наиболее крупные сегменты;

– по мощности, потребляемой из питающей сети, – линией, имеющей сегменты средней величины;

– по допустимому ускорению экипажа – линией, имеющей наиболее мелкие звенья.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что в рассмотренной ситуации экипаж динамически достаточен при скоростях движения, не превышающих  $\approx 101$  м/с. При движении с более высокими скоростями он искомую достаточность теряет. В интервале же скоростей  $\approx 89...101$  м/с потенциальные возможности ЛСД использованы в полной мере быть не могут, вследствие ограниченности ПФД в этой зоне запретом по допустимому ускорению.

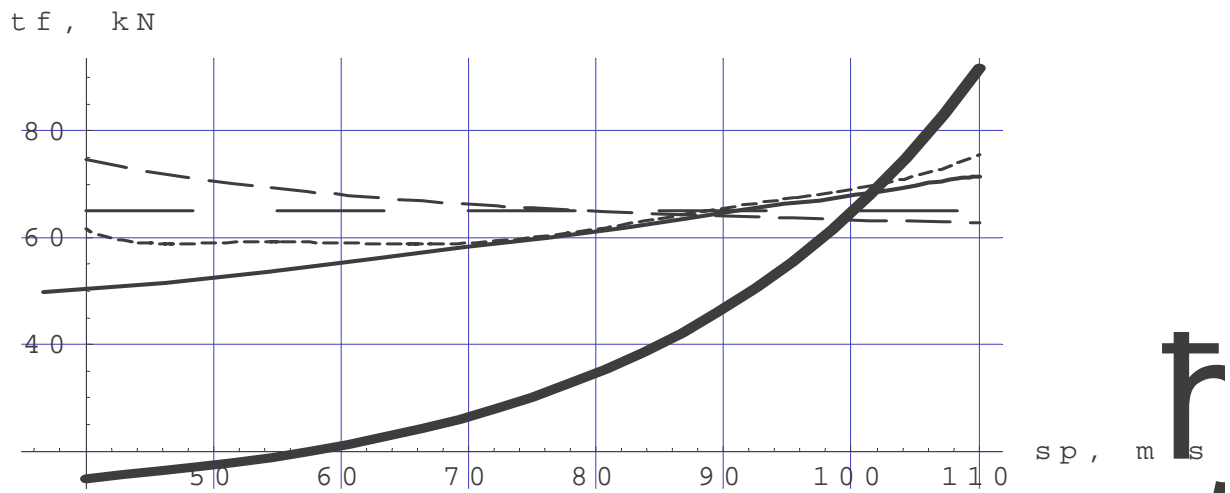


Рис. 1. Верификация ДД экипажа МЛП в режиме его разгона

### Научная новизна и практическая значимость

Глобальний же вивод, наступний з аналізу розробленої методики верифікації ДД МЛП, складає, очевидно, в тому, що ця методика являється високоефективною, допускає достаточну візуальність і умеренну ресурсомісткість використання (особливо – в випадках не занадто високих розмірностей ПС і ППР системи).

### Выводы

Така методика з успіхом може використовуватися в процесі динамічних досліджень, в тому числі, МЛП.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Беллман, Р. Некоторые вопросы математической теории процессов управления / Р. Беллман, И. Гликсберг, О. Гросс. – М. : ИЛ, 1962. – 336 с.
- Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев и др. – К. : Наук. думка, 2001. – 479 с.
- Корнев, Г. В. Очерки механики целенаправленного движения / Г. В. Корнев. – М. : Наука, 1980. – 192 с.
- Красовский, Н. Н. Управление динамической системой. Задача о минимуме гарантированного результата / Н. Н. Красовский. – М. : Наука, 1985. – 520 с.
- Поляков, В. А. Анализ и синтез динамики электродинамического поезда с линейным двигателем / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 15. – С. 159–166.
- Поляков, В. А. Построение движения магнитолевитирующего поезда в непредсказуемой обстановке / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 192–195.
- Поляков, В. А. Особенности построения движения магнитолевитирующего поезда / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 24–29.
- Поляков, В. А. Терминальное управление движением магнитолевитирующего поезда с использованием линейного синхронного двигателя / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2006. – Вип. 12. – С. 138–145.
- Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М. : Наука, 1987. – 712 с.
- Черноуцько, Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов / Ф. Л. Черноуцько. – М. : Наука, 1988. – 320 с.
- Wolfram, St. Mathematica book / St. Wolfram. – Champaign : Wolfram press, 2003. – 1301 p.
- Belomo, N. Continuum mechanics using Mathematica / N. Belomo. – New York : Springer, 2006. – 388 p.
- Wellin, P. An introduction to programming with Mathematica / P. Wellin, S. Kamin, R. Gaylord. – 3 ed. – Cambridge : CUP, 2005. – 570 p.
- Wolfram Mathematica [Electronic resource]. – Access Mode : <http://www.wolfram.com/mathematica/>. – Title from the screen.

В. О. ПОЛЯКОВ<sup>1\*</sup>, М. М. ХАЧАПУРИДЗЕ<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Інститут транспортних систем і технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (0562) 32 30 55, ел. пошта [p\\_v\\_a\\_725@mail.ru](mailto:p_v_a_725@mail.ru)

<sup>1</sup>Інститут транспортних систем і технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, Дніпропетровськ, Україна, 49005, тел. +38 (0562) 32 30 55, ел. пошта [p\\_v\\_a\\_725@mail.ru](mailto:p_v_a_725@mail.ru)

## ДИНАМІЧНА ДОСТАТНІСТЬ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ПОЇЗДА

**Мета.** Основним критерієм споживчої оцінки магнітолевітуючого поїзда є якість його механічного руху. Цей рух реалізується в непередбачуваній обстановці й для збереження цілеспрямованості повинен пристосовуватися до неї. Така адаптація можлива лише в межах динамічної достатності системи. Під достатністю розуміється наявність у системи ресурсів, які дозволяють реалізовувати її необхідні рухи без незбереження актуальних обмежень. Тому наявність таких ресурсів є необхідною умовою збереження шуканої цілеспрямованості динаміки поїзда, а верифікація згаданої достатності – найважливішим компонентом дослідження

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

цієї динаміки. **Методика.** У роботі використані методи теорії множин. Знайдено простори бажаної, а також фактичної досяжності поїзда. Вони вважаються динамічно достатніми в зонах перекриття зазначених просторів. **Результати.** У рамках прийнятого трактування динамічної достатності поїзда, верифікація її наявності, а також запасу (або дефіциту) збереження, здійснена шляхом знаходження й апостеріорної оцінки таких зон перекриття. Оперативно – безпосередньо в процесі руху – це можна реалізувати на БЦОМ поїзда з використанням, наприклад, системи комп'ютерної математики Mathematica. Вона має великі можливості високоефективного й у той же час – відносно низькоресурсного інформаційного маніпулювання. Ефективність використання створеної методики проілюстрована на прикладі дослідження режиму розгону екіпажа. Розрахунок виконаний із використанням побудованої комп'ютерної моделі взаємодії автономної тягової електромагнітної підсистеми артефакту з його механічною підсистемою. **Наукова новизна.** Розроблена методика верифікації динамічної достатності високошвидкісного магнітолевітуючого поїзда. Методика є високоефективною, забезпечує достатню візуальність і має помірну ресурсоємність використання (особливо у випадках не занадто високих розмірностей просторів станів і прийняття рішень системи). **Практична значимість.** Методика з успіхом може використовуватися в процесі динамічних досліджень, у тому числі магнітолевітуючих поїздів.

*Ключові слова:* магнітолевітуючий поїзд; динамічна достатність; ситуації руху; параметри ситуації; параметри рішення

V. A. POLYAKOV<sup>1\*</sup>, N. M. KHACHAPURIDZE<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Institute of Transport Systems and Technologies NAS of Ukraine, Pisarzhevskiy St., 5, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. + 38 (0562) 32 30 55, e-mail p\_v\_a\_725@mail.ru

<sup>1</sup>Institute of Transport Systems and Technologies NAS of Ukraine, Pisarzhevskiy St., 5, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005, tel. + 38 (0562) 32 30 55, e-mail p\_v\_a\_725@mail.ru

## DYNAMIC SUFFICIENCY OF THE MAGNETICALLY SUSPENDED TRAIN

**Purpose.** The basic criterion of the magnetically suspended train's consumer estimation is a quality of its mechanical motion. This motion is realized in unpredictable conditions and, for purposefulness preservation, should adapt to them. Such adaptation is possible only within the limits of system's dynamic sufficiency. Sufficiency is understood as presence at system of resources, which allow one to realize its demanded motions without violating actual restrictions. Therefore presence of such resources is a necessary condition of preservation of required purposefulness of train's dynamics, and verification of the mentioned sufficiency is the major component of this dynamic research. **Methodology.** Methods of the set theory are used in work. Desirable and actual approachability spaces of the train are found. The train is considered dynamically sufficient in zones of the specified spaces overlapping. **Findings.** Within the limits of the accepted treatment of train's dynamic sufficiency, verification of its presence, as well as a stock (or deficiency) of preservations can be executed by the search and the subsequent estimation of such overlapping zones. Operatively (directly during motion) it can be realized on the train's ODC with use, for example, of computer mathematics system Mathematica. It possesses extensive opportunities of highly efficient and, at the same time, demanding an expense concerning small resources information manipulation. The efficiency of using of created technique is illustrated on an example of vehicle's acceleration research. Calculation is executed with use of the constructed computer model of interaction of an independent traction electromagnetic subsystem of an artifact with its mechanical subsystem. **Originality.** The technique of verification of the high-speed magnetically suspended train's dynamic sufficiency is developed. The technique is highly efficient, it provides sufficient presentation and demands an expense of the moderate resources at use (especially in cases of not too high dimensions of spaces of conditions and decision-making of system). **Practical value.** The technique can be used with success during dynamic research, including the magnetically suspended trains.

*Keywords:* magnetically suspended train; dynamic sufficiency; situations of motion; situation parameters; parameters of decision

## REFERENCES

1. Bellman R., Glikhsberg I, Gross O. *Nekotoryye voprosy matematicheskoy teorii protsessov upravleniya* [Some issues of the mathematic theory of the control process]. Moscow, IL Publ., 1962. 336 p.
2. Dzenzerskiy V.A., Omelyanenko V.I., Vasilyev S.V., Matin V.I., Sergeyev S.A. *Vysokoskorostnoy magnitnyy transport s elektrodinamicheskoy levitatsiyey* [High-speed magnetic transport with electrodynamic levitation]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 2001. 479 p.
3. Korenev G.V. *Ocherki mekhaniki tselenapravlennoy dvizheniya* [Digest on the mechanics of purposeful movement]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 192 p.
4. Krasovskiy N.N. *Upravleniye dinamicheskoy sistemoy. Zadacha o minimume garantirovannogo rezultata* [Dynamic system control. Task of the minimum guaranteed result]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 520 p.
5. Polyakov V.A., Khachapuridze N.M. Analiz i sintez dinamiki elektrodinamicheskogo poyezda s lineynym dvigatelem [Analysis and synthesis of the dynamics electrodynamic train linear motor]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 15, pp. 159-166.
6. Polyakov V.A., Khachapuridze N.M. Postroyeniye dvizheniya magnitolevitiruyushchego poyezda v nepredskazuemoy obstanovke [Motion synthesis of the maglev train in the unpredictable environment]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 30, pp. 192-195.
7. Polyakov V.A. Osobennosti postroyeniya dvizheniya magnitolevitiruyushchego poyezda [Features of construction traffic magnitolevitiruyushchego train]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 24-29.
8. Polyakov V.A., Khachapuridze N.M. Terminalnoye upravleniye dvizheniyem magnitolevitiruyushchego poyezda s ispolzovaniyem lineynogo sinkhronnogo dvigatelya [Terminal motion control of the maglev train using the linear synchronous engine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2006, issue 12, pp. 138-145.
9. Krasovskiy A.A. *Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Guide of the automatic control theory]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 712 p.
10. Chernousko F.L. *Otsenivaniye fazovogo sostoyaniya dinamicheskikh sistem. Metod ellipsoidov* [Evaluation of the phase state of dynamical systems. The method of ellipsoids]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 320 p.
11. Wolfram St. *Mathematica book*. Champaign, Wolfram press Publ., 2003. 1301 p.
12. Belomo N. *Continuum mechanics using Mathematica*. New York, Springer Publ., 2006. 388 p.
13. Wellin P., Kamin S., Gaylord R. *An introduction to programming with Mathematica*. 3 edition. Cambridge, CUP Publ., 2005. 570 p.
14. Wolfram Mathematica. Available at: <http://www.wolfram.com/mathematica/> (Accessed 22 November, 2013).

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина); д.физ.-мат.н., проф. А. А. Приходько (Украина)*

Поступила в редколлегию 09.09.2013

Принята в печать 06.11.2013