



ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ

А. И. Извеков, аспирант

e-mail: anton_izvekov92@mail.ru

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

А. Г. Остренко, ст. препод.

e-mail: windgone1980@gmail.com

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

А. А. Ветрогон, канд. техн. наук, доц.,

заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»

e-mail: windgone1980@gmail.com

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

В статье рассматриваются вопросы структурно-компоновочного синтеза транспортно-технологического модуля (ТТМ), предназначенного для внутризаводских перевозок крупногабаритных грузов. Ключевой особенностью разработки является возможность обеспечения автономности на протяжении всех технологических операций. Поднимаются вопросы общей компоновки, балансировки на одной оси и обеспечения управляемости при любых режимах работы. Изучены отдельные способы балансировки, позволяющие обеспечить общую устойчивость при различных режимах работы, а также искусственно смещать центр тяжести. Рассмотрена возможность обеспечения управляемости за счет разности угловых скоростей вращения колес при помощи частотного преобразователя в режиме движения отдельного независимого модуля, а также возможность сканирования рельефа окружающей местности для выявления наиболее опасных участков и более точного позиционирования в ходе движения.

Ключевые слова: транспортно-технологический модуль, балансировка, устойчивость, маневренность, технологический электротранспорт, крупногабаритные грузы

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация технологических процессов на сегодняшний день является важнейшим направлением в современном производстве. Согласно определению, она представляет собой широкое внедрение взаимосвязанных и взаимодополняющих систем машин, аппаратов, приборов, оборудования на всех участках производства. Автоматизация способствует росту производительности труда, снижению трудоемкости изготовления продукции.

Вышеизложенное касается и такого направления, как грузоперевозки и складская логистика. Реализация идей в этих сферах заслуживает особого внимания.

Автоматизация более чем применима для процесса транспортировки, что обусловлено, прежде всего, человеческим фактором – выполнение одних и тех же монотонных, повторяющихся действий неизменно ведет к снижению производительности, потере внимания, а следовательно, к ошибкам, травмам, авариям и убыткам для предприятия.

Для устранения влияния человеческого фактора в процессе транспортировки возможно применение специализированных транспортно-технологических машин и программного обеспечения, позволяющих полностью автоматизировать данный процесс.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является конструкция одноосного транспортно-технологического модуля с электрическим приводом, предназначенного для перемещения крупногабаритных грузов, работающего совместно с другими аналогичными модулями, взаимодействие с которыми обеспечивается путем использования беспроводной связи.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является структурно-компоновочный синтез автономного транспорта с интеллектуальной системой автоматического управления, входящего в технологическую систему перемещения крупногабаритных грузов во внутризаводских перевозках.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основе анализа существующих технических решений выполнить структурно-компоновочный синтез модульного автономного электротранспорта для внутризаводских перевозок крупногабаритных грузов;
- проанализировать возможные пути решения обеспечения устойчивого положения отдельного модуля;
- рассмотреть пути обеспечения необходимой маневренности модуля в условиях наличия внешних возмущающих воздействий.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате анализа текущего состояния рынка автономного технологического транспорта и представленных на нем продуктов, а также патентного поиска [1-4] была разработана общая структурная схема транспортно-технологического модуля, приведенная на рис. 1.

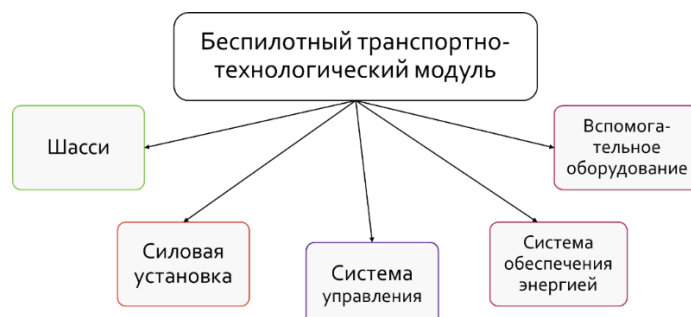


Рисунок 1 – Структурная схема ТТМ

Данный ТТМ предназначен для внутризаводских перевозок крупногабаритных грузов. Предполагается захват груза двумя или более модулями, а затем – перемещение его к месту назначения в режиме, когда необходимая маневренность для перемещения по внутризаводской территории обеспечивается за счет беспроводной связи между отдельными модулями. Предполагаемая максимальная нагрузка на один модуль составляет 10 т.

Общий вид транспортно-технологического модуля показан на рис. 2. Он состоит из пространственной рамы 1, на которой смонтированы приводы колес 2, состоящие из двух асинхронных двигателей, понижающих редукторов, пневматических тормозов и частотных преобразователей. Также на раме установлены электрические и пневматические системы ТТМ. На верхней части основания расположены четыре пневматические подушки 3, обеспечивающие перемещение верхней платформы, на которой, в свою очередь, крепятся приводы 4, обеспечивающие горизонтальное перемещение стоек вилочного подъемника 5 за счет работы асинхронных электродвигателей 6. Также на верхней платформе располагается поворотная платформа 7 с площадкой для размещения груза 8. Предусмотрен механизм, исключающий самопроизвольный поворот платформы вокруг вертикальной оси, за счет него же осуществляется поворот платформы по время маневрирования при перевозке крупногабаритного груза двумя такими модулями. Сами подъемники приводятся в действие двумя асинхронными элек-

тродвигателями 9, которые через понижающие редукторы и ходовые винты перемещают каретки 10 с захватными устройствами 11. В нижней части кареток установлены опорные колеса 12, обеспечивающие дополнительную устойчивость модуля при захвате груза. Система обеспечения энергией, представляющая собой блок аккумуляторов, а также блок управления модулем закреплены на раме 1 (на схеме не показаны).

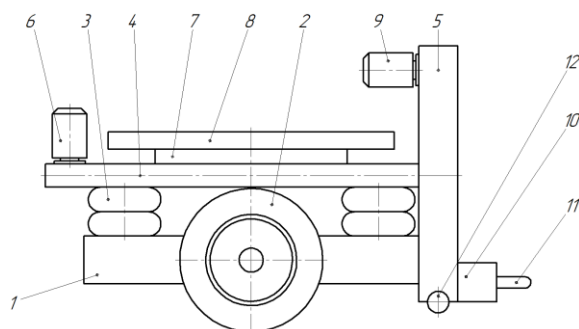


Рисунок 2 – Общий вид транспортно-технологического модуля

Данный ТТМ представляет собой двухколесный модуль, колеса которого располагаются на одной оси, таким образом, модуль – неустойчивая модель. В процессе перевозки крупногабаритного груза в составе двух или более модулей, когда груз опирается не на вилочный подъемник, а на площадку 8, вопрос устойчивости становится неактуальным. Это достигается тем, что крупногабаритный груз (например, контейнер) сам будет представлять собой жёсткую раму для всей системы.

Двухколёсная схема была выбрана по причине того, что двухколесные балансирующие роботы имеют меньшее основание за счет отсутствия требования статической устойчивости. Колёсная пара позволяет совершать поворот на месте, что дает возможность ТТМ быть более маневренным в часто стеснённых складских условиях.

Схема процесса транспортировки крупногабаритного груза представлена на рис. 3.

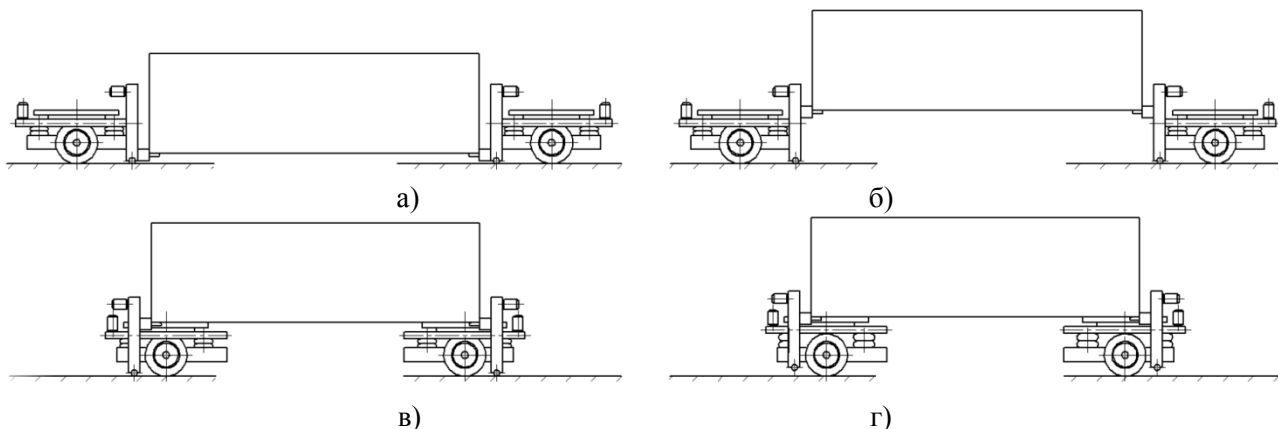


Рисунок 3 – Схема процесса транспортировки

Сначала поворотная платформа вместе со стойками 5 за счет пневматических подушек 3 опускается так, чтобы колеса 12 касались дорожного покрытия (рис. 3, а). Затем производится захват груза с помощью захватных устройств 11. После этого груз поднимается на необходимую высоту посредством вилочного подъемника 5 (рис. 3, б). Затем за счет приводов 4 происходит горизонтальное перемещение модулей под груз (рис. 3, в). Когда оба модуля находятся под грузом, с помощью подъемников он опускается на площадку для размещения груза 8. Далее поворотная платформа вместе со стойками и грузом поднимается за счет пневматических подушек, и осуществляется перемещение груза (рис. 3, г).

Следующей после синтеза является задача определения математической модели объекта, а также проверка разрешимости задачи синтеза.

Так как балансировка будет одной из основных решаемых задач, проанализируем основные методы обеспечения устойчивого положения модуля

На сегодняшний день существуют два основных метода балансировки. При применении первого смещается центр тяжести всего модуля за счет смещения подвижного груза в необходимую для этого сторону. Подробно этим вопросом занималась компания Segway совместно с General Motors при создании концептуального автомобиля EN-V [5], платформа которого показана на рис. 4.

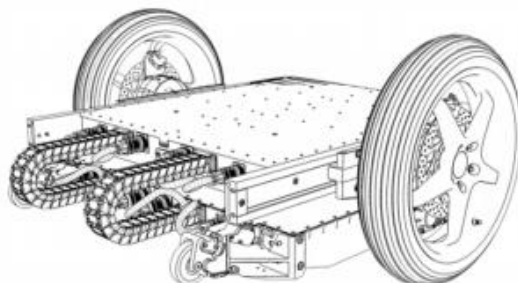


Рисунок 4 – Платформа электрокара EN-V

Балансирующий робот с математической точки зрения представляет собой перевернутый маятник с точкой подвеса на колесе (рис. 5) [6].

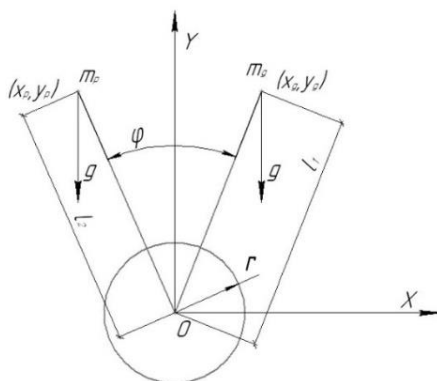


Рисунок 5 – Метод балансировки за счет смещения центра тяжести

На рис. 5: r – радиус колеса; m_p – масса подвижного груза; m_g – масса модуля; (x_g, y_g) – координаты центра масс модуля; φ – угол наклона; (x_p, y_p) – координаты центра масс каретки; g – ускорение свободного падения; l_1 – расстояние от центра масс модуля до оси колеса; l_2 – расстояние от центра масс подвижного груза до оси колеса.

Данный алгоритм подходит для перевозки грузов, центр тяжести которых находится вне поперечной плоскости, проходящей через ось колес. На разрабатываемом модуле смещение центра масс может компенсироваться перемещением подъемников 5 (см. рис. 2), имеющих свою массу m_p , по направляющим. Расположение подъемников на боковых поверхностях ТТМ позволяет решать следующие задачи:

- компенсирование отклонения центра масс в продольной и поперечной плоскостях;
- снижение воздействия крутящего момента каждого колеса в отдельности на общий баланс конструкции;
- длительное удержание модуля в статически устойчивом положении без дополнительного подключения основных колесных движителей, что значительно сокращает энергопотребление;
- возможность обрабатывать внешнее возмущение.

Для более точной балансировки применяют второй метод (рис. 6), основанный на повороте колеса на заданный угол. К раме жестко крепятся статоры двигателей. На роторах же двигателей закреплены колеса. Суть метода балансировки состоит в том, чтобы поддерживать равновесное вертикальное положение модуля путем вращения колес.

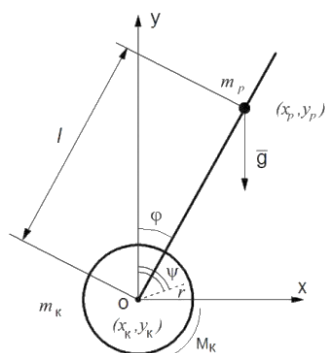


Рисунок 6 – Схема балансировки путем вращения колес

На рис. 6: O – точка подвеса; M_k – крутящий момент на колесе; ψ – угол поворота колеса; r – радиус колеса; m_k – масса колеса; (x_k, y_k) – координаты центра масс колеса; φ – угол наклона; (x_p, y_p) – координаты центра масс модуля; l – расстояние от центра масс ТТМ до точки подвеса (центра масс колеса); g – ускорение свободного падения.

Уравнения с применением второго метода выглядят следующим образом [7]:

$$r \cdot \cos(\psi) \cdot l \cdot m_p \cdot \psi'' + r^2 \cdot (m_p + 2m_k) \cdot \varphi'' - r \cdot \sin(\psi) \cdot \psi^2 \cdot l \cdot m_p = M_k, \quad (1)$$

$$\varphi'' \cdot \cos(\psi) \cdot l \cdot m_p - m_p \cdot g \cdot l \cdot \sin(\psi) + 2 \cdot m_p \cdot l^2 \cdot \psi'' = 0 \quad (2)$$

Во время движения модуля данные методы могут дополнять друг друга. При установившемся равномерном движении, постановке модуля на место стоянки, при погрузке на платформу груза с центром масс, отличным от центра масс модуля, устойчивость обеспечивается на счет изменения положения центра масс подъемников. Исходя из того, что изменение положения подъемников не может происходить за относительно небольшой промежуток времени, для достижения стабильного, сбалансированного положения имеет место балансировка вторым методом. В случаях когда воздействие носит разовый, быстро развивающийся во времени характер, задача балансировки сводится к изменению крутящего момента на колесах.

Также рассмотрим основные моменты обеспечения необходимой маневренности проектируемого транспортно-технологического модуля и особенности его навигации.

При решении задач навигации автономных технологических транспортных средств используются два основных подхода.

Глобальный – определение абсолютных координат устройства при движении по длинным маршрутам. При этом траектория выбирается еще до начала движения на основе полученной информации.

Локальный – определение координат устройства по отношению к некоторой (обычно стартовой) точке. Планирование задает лишь небольшой отрезок траектории, в конечной точке которого выбирается дальнейшая траектория.

Существует множество методов локальной навигации, например, такие как [8]:

- гистограмма векторного поля;
- потенциальное поле;
- диаграмма близких расстояний;

–тангенциальное избегание.

Системы навигации разрабатываемого ТТМ имеют множество различных датчиков и систем, позволяющих совмещать в себе локальные и глобальные системы.

Основу для разработки и определения необходимой траектории движения составляет заранее подготовленная трехмерная карта местности. При движении ТТМ лидар сканирует местность, создавая облако точек (рис. 7), положение которых сравнивается с уже заложенной в программном обеспечении трехмерной картой местности, тем самым ориентируя транспортное средство в пространстве.

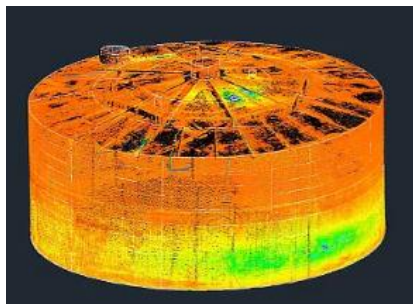


Рисунок 7 – Пример сканирования модели и создания облака точек

Сканирование местности не ограничивается исключительно определением расстояний до необходимых объектов, при данном методе происходит сканирование дорожного покрытия для получения оперативных данных как о наличии самого покрытия, его характере, так и о наличии препятствий в виде различных неровностей, для возможности их объезда.

В качестве дополнительных навигационных систем представлены GPS-модуль и ID-датчики расстояний, которые дополняют уже полученные данные.

ID-датчики, расположенные по всему периметру ТТМ, служат для определения расстояния до ближайших ТТМ, иных объектов окружения и расстояния от плоскости рамы до опорной поверхности, что значительно упрощает технологический процесс погрузки контейнера и косвенно сигнализирует о состоянии дорожного полотна и колес модуля.

Комплексное применение всех этих устройств позволяет позиционировать ТТМ с точностью до 0,1 м, что положительно сказывается на проведении технологических операций, а также при движении в составе двух или трех модулей.

Первичное исследование кинематики движения двухколесной машины производилось на модели без элементов подвески, с жестким основанием, соосной колесной системой и дифференциальным приводом колес [9, 10].

Предполагается, что колеса находятся в точечном контакте с поверхностью и движутся без проскальзывания [10]. Расчетная схема представлена на рис. 8.

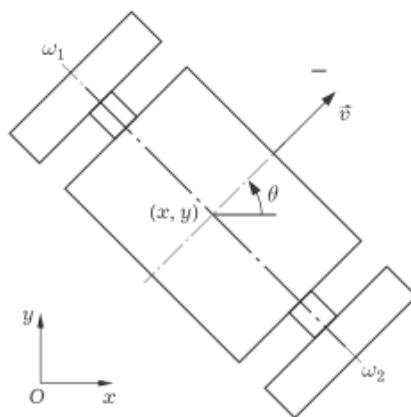


Рисунок 8 – Расчетная модель двухколесной машины

Кинематическая модель модуля имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{x} = R \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot \cos \theta, \\ \dot{y} = R \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot \sin \theta, \\ \dot{\theta} = \frac{R}{L} \cdot (\omega_1 - \omega_2), \\ \dot{\varphi}_1 = \omega_1, \\ \dot{\varphi}_2 = \omega_2, \end{cases} \quad (3)$$

где x, y – координаты базовой точки ТТМ (координаты оси вращения) в неподвижной системе координат;

θ – угол между вектором скорости робота и положительным направлением оси x ;

ω_1, ω_2 – угловые скорости вращения левого и правого колес соответственно;

R – радиус колеса;

φ_1, φ_2 – углы поворота колес.

Линейная скорость v движения ТТМ связана с угловыми скоростями вращения колес соотношением:

$$v = R \cdot \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}, \quad (4)$$

а угловая скорость вращения платформы вокруг вертикальной оси:

$$w = \frac{R}{L} \cdot (\omega_1 - \omega_2) \quad (5)$$

Последние два уравнения в системе (3) можно опустить, исходя из того, что они не используются при расчете модели. Следовательно, система уравнений движения принимает вид:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cdot \cos \vartheta, \\ \dot{y} = v \cdot \sin \vartheta, \\ \dot{\vartheta} = w \end{cases} \quad (6)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными результатами исследования являются структурная и компоновочная схемы модульного автономного электротранспорта для внутризаводских перевозок крупногабаритных грузов, полученные путем структурно-компоновочного синтеза, на основе анализа существующих технических решений.

Данная научная работа была выполнена в рамках внутреннего гранта Севастопольского государственного университета, идентификатор 42/06-31.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было описано устройство беспилотного транспортно-технологического модуля. Разработаны основные и вспомогательные схемы балансировки на двух колесах на основе обратного маятника, которые не только способны работать отдельно, но и дополнять друг друга в случае мгновенных воздействий на машину или же разбалансировки системы грузом, находящимся на платформе. Определены основные подходы для позиционирования как одиночного модуля, так и нескольких звеньев. Произведена разработка расчетной модели для исследования параметров маневренности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортный робот [Текст]: пат. 2424891 Рос. Федерация: МПК В 25 G 8/00 / Мартыненко Ю. Г. [и др.]; патентообладатель Государственное учебно-научное учреждение «Научно-исследовательский институт механики МГУ». – № 010116010/02; заявл. 23.04.2010; опубл. 27.07.2011, Бюлл. № 21.
2. Мобильный робот [Текст]: пат. 2554835 Рос. Федерация: МПК В 25 J 5/00 / Телегин А. И., Белугин В. Б.; патентообладатель ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ" (НИУ). – № 2014102145/02; заявл. 22.01.2014; опубл. 27.06.2015, Бюлл. № 18.
3. H.F. Thorne, Robotic Cart Pulling Vehicle, International Publication Number WO 2004/020267 A2 (11 March 2004).
4. J.P. Park et al. Logistics Transport System, International Publication Number WO 2016/140481 A1 (9 September 2016).
5. Говердовский, А. Д. Автоматическое управление балансирующим роботом / А. Д. Говердовский // Научные технологии и интеллектуальные системы 2013: XV Молодежн. науч.-техн. конф.: сб. науч. тр. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2013. – С. 259-265.
6. Федоров, Д. С. Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота / Д. С. Федоров, А. Ю. Ивойлов, В. А. Жмудь [и др.] // Автоматика и программная инженерия. – 2015. – № 2 (12) – С.16-34.
7. Программисты развлекаются или руководство по разработке балансирующего робота [Электронный ресурс]. URL: <https://jetruby.com/ru/blog/программисты-развлекаются-или-руков/> (дата обращения: 01.04.2020).
8. Движение робота к с заданными координатами [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/277829/> (дата обращения: 01.04.2020).
9. Иванов, А. А. Основы робототехники / А. А. Иванов. – Москва: Форум, 2012. – 224 с.
10. Нефедов, Г. А. Стабилизация движения двухколесного робота с дифференциальным приводом по заданному пути / Г. А. Нефедов // Машиностроение и компьютерные технологии. 2013. №04. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stabilizatsiya-dvizheniya-dvuhkolesnogo-robota-s-differentsialnym-privodom-po-zadannomu-puti> (дата обращения: 01.04.2020).

TECHNOLOGICAL TRANSPORT MODULE FOR MOVING LARGE-SIZED CARGO

A. I. Izvekov, post-graduate student
e-mail: anton_izvekov92@mail.ru
Sevastopol State University

A. G. Ostrenko, senior lecturer
e-mail: windgone1980@gmail.com
Sevastopol State University

A. A. Vetrogon, PhD. tech., associate professor,
head of the department “Automobile transport”
e-mail: windgone1980@gmail.com
Sevastopol State University

The article deals with the issues of structural and layout synthesis of the technological transport module intended for intra-factory transportation of oversized cargo. The key features of the development are unmanned and autonomous throughout all technological operations. The issues of general layout, balancing on one axis and ensuring controllability in all operating modes are raised. Separate methods of balancing are considered, which allow to provide general stability un-

der different operating modes, as well as to artificially shift the center of gravity. The possibility of providing controllability due to the difference in angular speeds of wheel rotation using a frequency Converter in the driving mode as a separate module is considered. The possibility of scanning the terrain to identify the most dangerous areas and more accurate positioning during the movement is considered.

Key words: *technological transport module, balancing, stability, maneuverability, technological electric transport, oversized cargo*