

УДК 623.4.С47

Магерамов Л.К., Кроленко А.И., Сливар Е.Я., Нефедов А.В., Гулевский Ю.В.

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ ТРЕНАЖЕРОВ

Первые тренажеры были стационарными – все движения в машинах происходили только на экране. Сам же участник тренинга, сидя за штурвалом, не ощущал тряски и наклонов аппарата, поскольку кабина, пол и кресло тренажера оставались неподвижными. Но недостатки с имитацией действительности были исправлены довольно быстро: учебную кабину стали устанавливать на специальную платформу, которая могла раскачиваться в различных направлениях.

Сегодня подобных динамических платформ, предназначенных для разных видов техники, существует много: от подвижной копии кресла оператора до многоместных кабин. В основном динамические платформы различаются по количеству плоскостей, в которых может перемещаться тренажер. Простые платформы могут двигаться только в одной плоскости, более сложные имеют до шести степеней свободы. В последнем случае обучаемые перемещаются во всех трех координатных плоскостях. Для приведения динамических платформ в действие используются гидравлические, пневматические, электромеханические и электромагнитные приводы. Нюансы движения реальной техники имитируются путем управления приводом с помощью подачи соответствующих сигналов от системы управления, включающей компьютер. Например, создавая эффект езды по кругу, длительного торможения машины или, напротив, разгона, кабина тренажера по команде компьютера просто наклоняется в нужную сторону на заданный угол.

Реализовать необходимую динамическую интерактивность платформы гораздо сложнее, нежели сгенерировать правдоподобные картинки на экранах мониторов. Имитируя движение, разработчики сталкиваются с жесткими физическими ограничениями, но за счет усовершенствования конструкции тренажеров, например создания большого свободного хода и использования мощного привода, они создают нужный диапазон механических нагрузок для экипажа. И тогда во время тренингов возникают правдоподобные ощущения езды по неровностям местности или же прохождения крутого виража. Главная задача изготовителей тренажеров на динамических платформах состоит в том, чтобы человек реально ощущал перегрузки и небольшие перемещения в пространстве, поскольку подобные эффекты существенно повышают результативность тренировок.

При разработке динамического тренажера встает вопрос о степени подвижности имитаторов рабочих мест операторов в пространстве, т.е. о количестве степеней свободы, которое должна обеспечить динамическая платформа (ДП), разрабатываемого тренажера.

В настоящее время существуют динамические платформы с 1, 2, 3, 4, 5 и 6-ю степенями свободы, некоторые из них приводятся ниже.

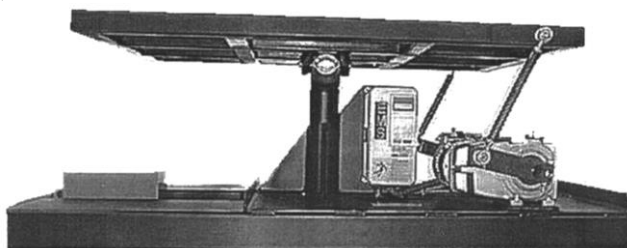


Рисунок 1 – Динамические платформы с 2-мя степенями свободы. Продольные угловые перемещения

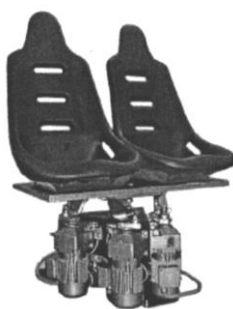


Рисунок 2 – Динамические платформы с 2-мя степенями свободы. Поперечные угловые перемещения

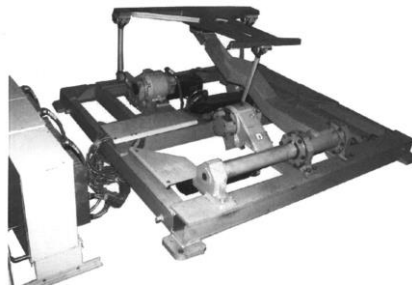


Рисунок 3 – Динамическая платформа с 3-мя степенями свободы

1. Продольные угловые перемещения.
2. Поперечные угловые перемещения.
3. Вертикальные перемещения.

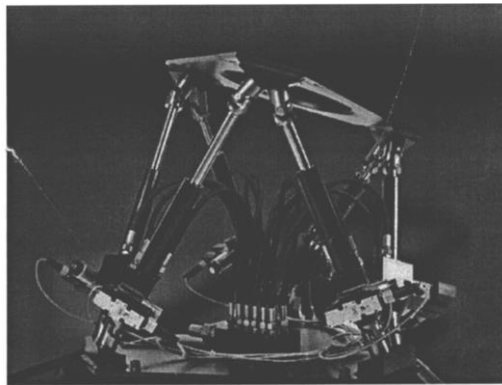


Рисунок 4 – Динамическая платформа с 6-ю степенями свободы, с гидроприводом

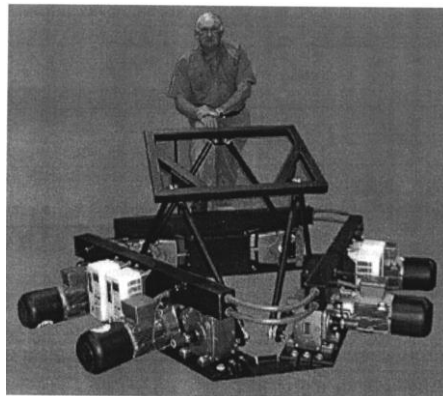


Рисунок 5 – Динамическая платформа с 6-ю степенями свободы, с электроприводом

Известно, что наибольшее распространение получили динамические платформы с 3-мя степенями свободы (рис. 3) и 6-ю степенями свободы (рис. 4 и 5).

У 6-ти степенной платформы дополнительными степенями свободы являются:

- продольные перемещения;
- поперечные перемещения;
- вращение вокруг вертикальной оси.

Рассмотрим поочередно, какие задачи решают динамические платформы.

1. Продольное перемещение

Реализованное перемещение равно ± 250 мм.

При таком перемещении возникает необходимость возврата ДП в исходное положение т.е. нужно создавать ускорение торможения и разгон в обратную сторону т.е. искажение динамики транспортного средства. Та же процедура и при торможении (тормозной путь танка со скорости 60 км/ч при $f=0,3$ равен 54 м).

Імітація кратковременного ускорення, возникающего при стрельбе из пушки, возможна путем создания продольных угловых и линейных колебаний.

2. Поперечные перемещения

Реализованное поперечное перемещение равно ± 250 мм.

Поперечное перемещение необходимо для реализации ускорений при поворотах, заносах, стрельбе из пушки на борт.

Центробежные ускорения при повороте на 90° длятся несколько секунд (до 5 сек).

В этом случае важно имитировать именно ускорение т.к. центробежная сила действует в поперечном направлении и прижимает механика-водителя и других операторов к борту, усложняя их действия с органами управления танка, поиска цели и стрельбы.

Имея поперечное перемещение ДП ± 250 мм можно имитировать незначительное рыскание по курсу, около $\pm 3^\circ$, в течение 0,15 сек.

3. Вращение вокруг вертикальной оси

Реализованный угол вращения равен $\pm 30^\circ$

Рассмотрим так же случай поворота башни танка относительно корпуса.

Исходные данные:

– скорость вращения башни, тах $40^\circ/\text{сек}$ ($0,7^\circ/\text{сек}$);

– расстояние от центра сидения наводчика
или командира до оси вращения $0,6$ м.

определим центростремительное ускорение действующее на операторов:

$$a = r\omega^2 = 0,6 \cdot 0,7^2 = 0,3 \text{ м/сек}^2,$$

при массе человека $m = 75/9,81 = 7,6$ кг.

Боковая сила действующая распределенно на тело оператора будет равна:

$$p = 7,6 \cdot 0,3 = 2,3 \text{ кг},$$

Характеристики дополнительных степеней свободы, реализованные в ДП с 6-ю степенями свободы, были рассмотрены каждая в отдельности, как независимые друг от друга.

Но кабина тренажера совершает перемещение во всех направлениях одновременно и соответственно все они реализуются комплексным перемещением 6-ти стоек (штоков гидроцилиндров).

В настоящее время гидропривод на 6-ти степенных платформах практически повсеместно вытеснен электроприводом. В общем случае как для платформ с гидроприводом, так и для платформ с электроприводом пространственное положение верхней рамы определяется одними и теми же кинематическими соотношениями. На рис. 6 и 7 представлен один из вариантов классической компоновки платформы.

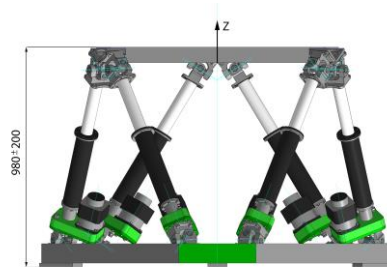


Рисунок 6 – Схема динамической платформы с 6-ю степенями свободы (1 часть)

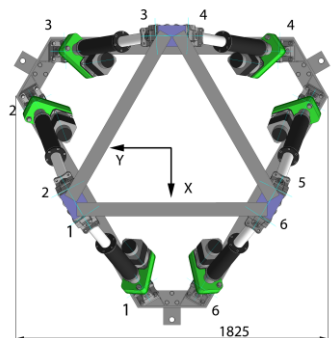


Рисунок 7 – Схема динамической платформы с 6-ю степенями свободы (2 часть)

Математическая модель работы 6-ти степенной платформы состоит из двух задач:

Прямая задача (основная) – нахождение длин опор по трём угловым и трём линейным координатам положения верхней рамы;

Обратная задача (дополнительная) – нахождение шести координат пространственного положения верхней рамы платформы по заданным значениям длин опор.

Дополнительная задача в практических целях решается лишь в демонстрационных приложениях и данное решение мы рассматривать не будем. Основная задача может быть решена несколькими способами. Рассмотрим один из них.

В качестве неподвижных опорных точек принимаются середины крестовин нижних карданов с координатами – X_{ni}, Y_{ni}, Z_{ni} ($i=1..6$). В качестве подвижных опорных точек принимаются середины крестовин верхних карданов с координатами – $X_{v0i}, Y_{v0i}, Z_{v0i}$ ($i=1..6$). С геометрическим центром нижней рамы связана неподвижная (нижняя) система координат XYZ_n , с геометрическим центром верхней рамы – подвижная (верхняя) система координат XYZ_v . Элементы (направляющие косинусы) матрицы перехода от подвижной системы координат к неподвижной определяются следующим образом:

$$a_{11} = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta);$$

$$a_{12} = \sin(\alpha) \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \sin(\beta) \cos(\gamma);$$

$$a_{13} = -\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma);$$

$$a_{21} = -\cos(\alpha) \cdot \sin(\beta);$$

$$a_{22} = -\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma);$$

$$a_{23} = \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cos(\gamma) + \cos(\beta) \sin(\gamma);$$

$$a_{31} = \sin(\alpha);$$

$$a_{32} = -\cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma);$$

$$a_{33} = \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma)$$

α – угол тангажа;

γ – угол крена;

β – угол рыскания.

Текущие координаты верхних карданов

$$X_{vi} = X + X_{v0i} \cdot a_{11} + Y_{v0i} \cdot a_{12} + Z_{v0i} \cdot a_{13};$$

$$Y_{vi} = Y + X_{v0i} \cdot a_{21} + Y_{v0i} \cdot a_{22} + Z_{v0i} \cdot a_{23};$$

$$Z_{vi} = Z + X_{v0i} \cdot a_{31} + Y_{v0i} \cdot a_{32} + Z_{v0i} \cdot a_{33},$$

где X, Y, Z – текущие координаты геометрического центра верхней рамы платформы.

Текущие длины тяг определяются из следующих уравнений:

$$L_i^2 = (X_{vi} - X_{ni})^2 + (Y_{vi} - Y_{ni})^2 + (Z_{vi} - Z_{ni})^2$$

Выводы:

1. В настоящее время наибольшее практическое применение получили 3-х и 6-ти степенные динамические платформы.
2. Гидропривод практически повсеместно вытеснен электроприводом с синхронными и реже с асинхронными электродвигателями.
3. Прямая задача для динамической платформы классической компоновки с 6-тью степенями свободы может быть решена с помощью одного из методов пространственной геометрии.
4. Существующие схемы динамических платформ, применяемых для тренажеров БТТ и др. техники, в достаточной мере обеспечивают имитацию перемещений оператора в реальной технике.

Литература

1. Величурский Г.А. Аппаратно-программные методы анализа надежности структурно-сложных систем. – Минск: Наука и техника, 1986. – 126 с.
2. Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения надежных систем. – М: Сов. радио, 1968. – 201 с.
3. Черкесов Г.Н., Можаяев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем. – М.: Знания, 1991. – 104 с.

4. Методы анализа и синтеза структур управляющих систем / Б.Г. Волик, Б.Б. Буянов, Н.В. Лубков и др.
5. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам – М. Машиностроение, 1987. – 75 с, 88 с, 256 с, 265 с.
6. Левитская О.Н., Левитский Н.И. Курс теории механизмов и машин – М. высшая школа, 1978. – 20 с, 21 с, 55 с, 103–112 с.
7. Платформа динамічна – «Опис до деклараційного патенту на корисну модель», Бюл. №8, 2002р – 1–2 с.

Bibliography (transliterated)

1. Velichurskiy G.A. Apparato-programmnye metody analiza nadezhnosti strukturno-slozhnyih sistem. – Minsk: Nauka i tehnika, 1986. – 126 p.
2. Nechiporenko V.I. Strukturnyy analiz i metody postroyeniya nadezhnyih sistem. – M: Sov. radio, 1968. – 201 p.
3. Cherkesov G.N., Mozhaev A.S. Logiko-veroyatnostnyie metody rascheta nadezhnosti strukturno-slozhnyih sistem. – M.: Znaniya, 1991. – 104 p.
4. Metody analiza i sinteza struktur upravlyayuschih system. B.G. Volik, B.B. Buyanov, N.V. Lubkov i dr.
5. Kraynev A.F. Slovar-spravochnik po mehanizam– M. Mashinostroenie, 1987. – 75 p, 88 p, 256 p, 265 p.
6. Levitskaya O.N., Levitskiy N.I. Kurs teorii mehanizmov i mashin – M. vysshaya shkola, 1978. – 20 p, 21 p, 55 p, 103–112 p.
7. Platforma dinamichna – «Opis do deklaratsiyynogo patentu na korisnu model», Byul. #8, 2002 – 1–2 p.

УДК 623.4.C47

Магерамов Л.К-А., Кроленко О.І., Сливар Є.Я., Нефьодов А.В., Гулевский Ю.В.

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДИНАМІЧНИХ ПЛАТФОРМ ТРЕНАЖЕРІВ

Проведено аналітичне дослідження шляхів рішення задачі по забезпеченню максимального приближення умов роботи оператора в кабіні тренажера до умов роботи в реальних виробках.

Mageramov L.K-A., Krolenko A.I., Slivar E.Ya., Nefedov A.V., Gulevsky Yu.V.

ANALYSIS OF SIMULATORS DYNAMIC PLATFORMS DESIGN FEATURES

An analytical study of the ways to solve the problem for provision of maximum approximation of the operator work in the simulator cabin to the operation conditions in real products has been carried out.