

С. В. Здрачук¹, Ю. Ф. Мухомад¹

¹ *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПОДВИЖНОСТИ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

Аннотация. В данной работе рассмотрен алгоритм управления платформой с шестью степенями свободы, реализованный с применением изолированных движений. Моделирование системы подвижности производилось в среде Matlab+Simulink с использованием пакета Simscape Multibody. На основе графиков движения были сделаны выводы о точности позиционирования платформы, получены передаточные коэффициенты для регулятора. Выявлены преимущества и недостатки данного метода.

Ключевые слова: манипуляторы параллельной кинематики, изолированные движения, платформа с шестью степенями свободы.

S.V. Zdrachuk¹, Y.F. Mukhopad¹

¹ *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

CONTROL ALGORITHM OF THE AIRCRAFT SIMULATOR MOBILITY SYSTEM

Abstract. In this paper, an algorithm for controlling a platform with six degrees of freedom, implemented with the use of isolated movements, is considered. The mobility system was simulated in Matlab+Simulink using the Simscape Multibody package. Based on the motion graphs, conclusions were drawn about the accuracy of the platform positioning, and transfer coefficients for the regulator were obtained. The advantages and disadvantages of this method are revealed.

Keywords: parallel kinematics manipulators, isolated movements, a platform with six degrees of freedom.

Введение. Манипуляторы с параллельной кинематикой встречаются в различных системах мехатроники. Одним из таких применений является система подвижности авиационного тренажера. На рисунке 1 представлена такая система[1] с платформой Гью-Стюарта[3].



Рисунок 1 - Система подвижности для авиационного тренажера

Исполнительными механизмами могут являться гидравлические, пневматические и электрические с редуктором, преобразующим вращательное движение во вращательное или вращательное в поступательное.

Для обеспечения заданных углов и положений с помощью задачи прямой или обратной кинематики решается система уравнений и находятся передаточные коэффициенты на

основе математической модели манипулятора, которые при наличии рассогласования по какой-либо величине создают сигналы для приводов, обеспечивая тем самым заданные перемещения.

Однако построение математической модели движения платформы требует сложных вычислений при большом числе звеньев манипулятора[2].

В статье ставится задача разработать альтернативный алгоритм управления.

Алгоритм управления платформой с шестью степенями свободы предлагается строить на использовании изолированных движений платформы: крен, тангаж, рыскание, продольное, боковое и вертикальное перемещение.

Алгоритм должен обеспечивать "чистоту" движения с максимальной амплитудой по заданному каналу. Под чистотой движения понимается вращение или перемещение платформы по заданному каналу и исключение движений по другим каналам.

В качестве исполнительных механизмов выбраны электроприводы постоянного тока с преобразователем вращательного движения в поступательное.

Для управления был предложен подход с условным разделением платформы пополам относительно осей симметрии и подачей сигналов на противоположные приводы, равных по величине, но противоположных по знаку.

Программная модель. На рисунке 2 показана программная модель для системы подвижности авиационного тренажера в среде Matlab Simulink с использованием пакета Simscape Multibody.

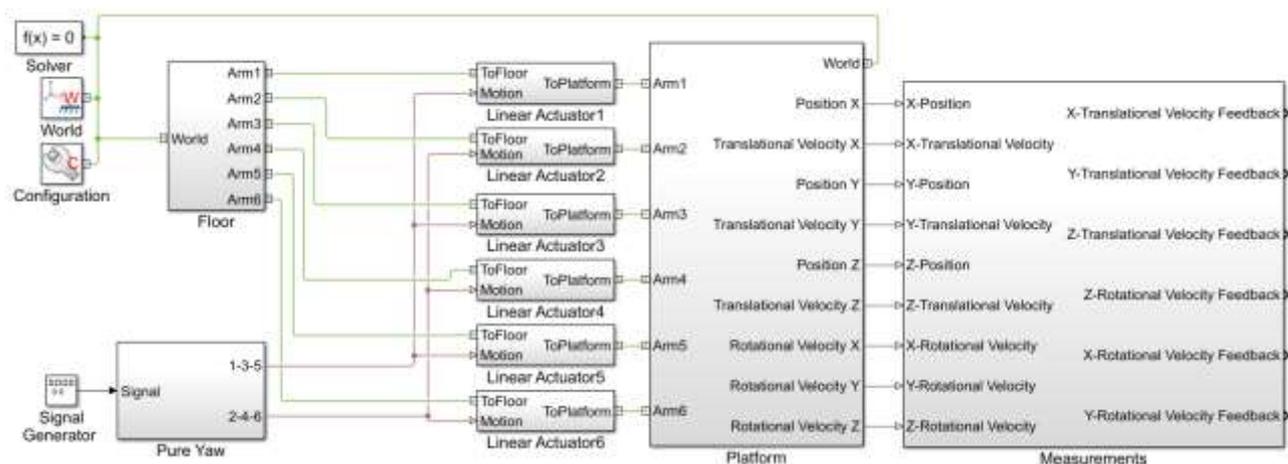


Рисунок 2 - Программная модель платформы подвижности

Модель представляет собой однонаправленную сеть программных блоков с обратной связью по каналу изменения скорости.

Блок World является неподвижным блоком и представляет из себя опорную точку для модели во время моделирования (аналог земли).

Блок Solver является решателем.

Блок Configuration позволяет настроить силу тяжести относительно осей модели.

Блок Pure Yaw является моделью чистого рыскания и представлен на рисунке 3. На вход Signal подается величина выдвигания приводов и через Simulink Converter1 преобразуется в физический сигнал для электроприводов 1, 3 и 5 с положительным знаком, а через усилитель с коэффициентом -1 подается на Simulink Converter2 и преобразуется в физический сигнал для электроприводов 2, 4 и 6.

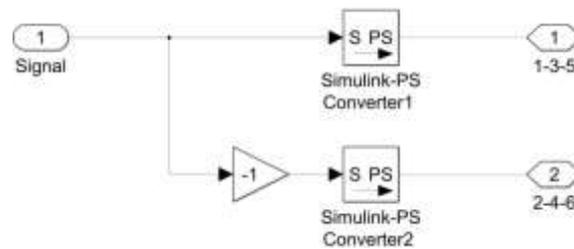


Рисунок 3 - Структура блока Pure Yaw

Блок Floor является основанием платформы и представлен на рисунке 4. Для того чтобы во время симуляции основание оставалось на одном месте и относительно него двигались все остальные элементы необходимо соединить его с блоком World. К выходам Arm1-Arm6 подключаются блоки Linear Actuator1-Linear Actuator6.

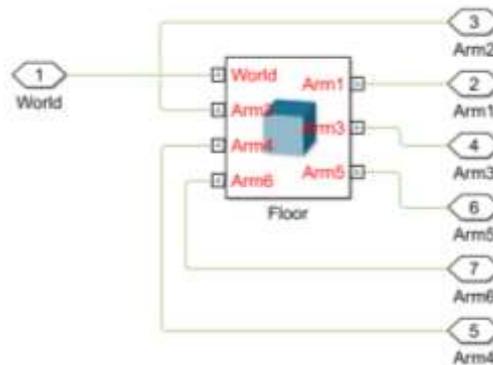


Рисунок 4 - Структура блока Floor

Блок Platform является самой платформой на которой должна быть расположена кабина тренажера. Устройство блока представлено на рисунке 5. Для удобства восприятия кабина заменена макетом самолета, который подключен к входу Plane через блоки Rigid Transform, которые позволяют повернуть самолет до нужного положения и сместить его в центр платформы. Блок 6-DOF Joint соединяет платформу с землей, сохраняя все степени свободы, и позволяет снимать сигналы скоростей перемещения и вращения.

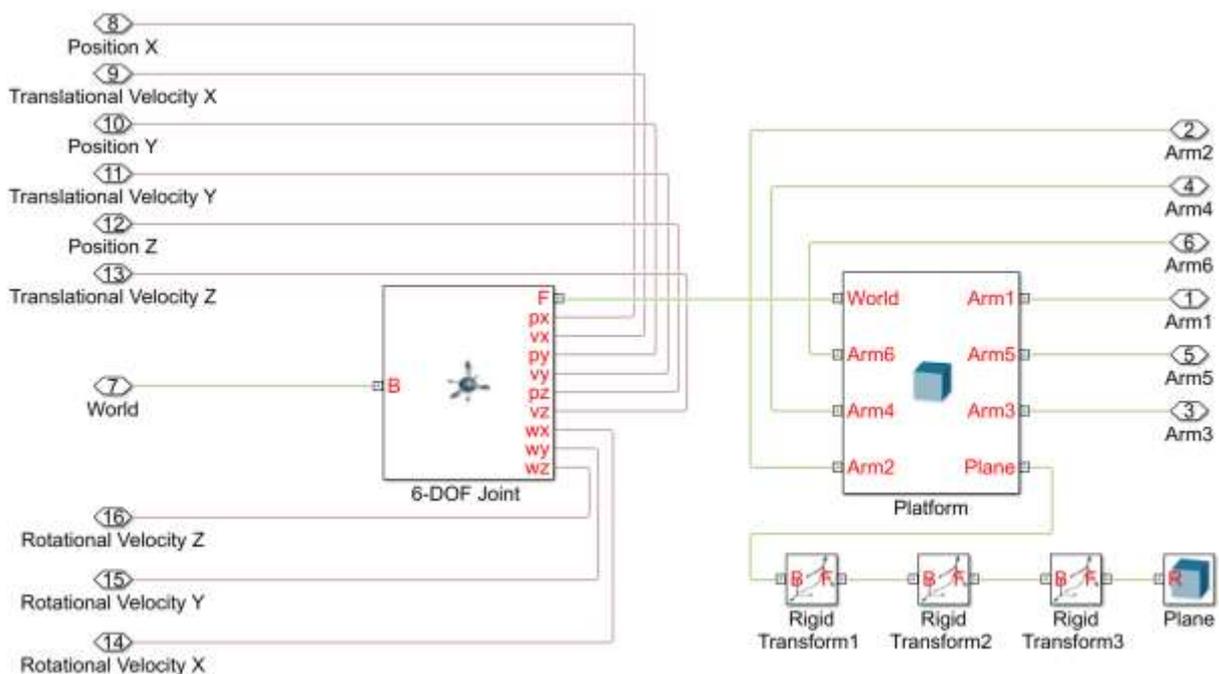


Рисунок 5 - Структура блока Platform

Блок Measurements измеряет сигналы с выхода блока Platform, выводит их на графики и подает на входы блоков изолированных движений в качестве обратных связей. Структура блока показана на рисунке 6.

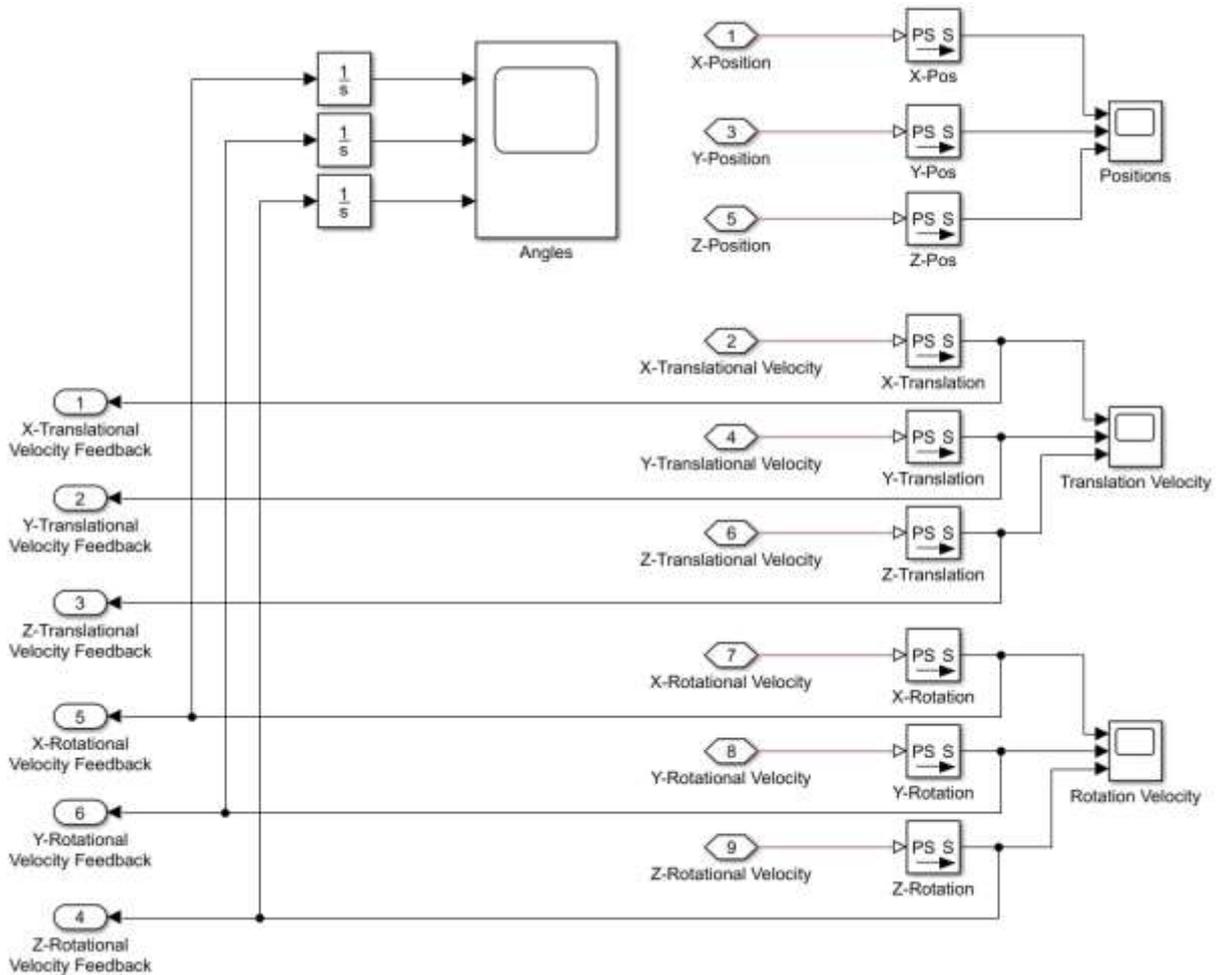


Рисунок 6 - Структура блока Measurements

Блоки Linear Actuator1-Linear Actuator6 типовые и являются моделями приводов. Для управления ими необходимо подать сигнал пропорциональный величине выдвигания на вход Motion. Структура блока представлена на рисунке 7, а на рисунке 8 показана 3D-модель привода с пояснением используемых узлов. Управляющий сигнал подается только на поступательное движение Cylindrical Joint, вращательное движение остается свободным.

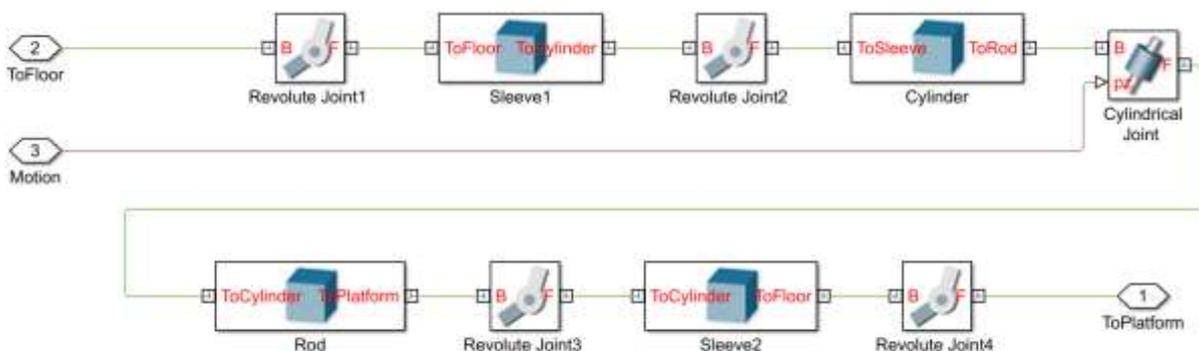


Рисунок 7 - Структура блока Linear Actuator

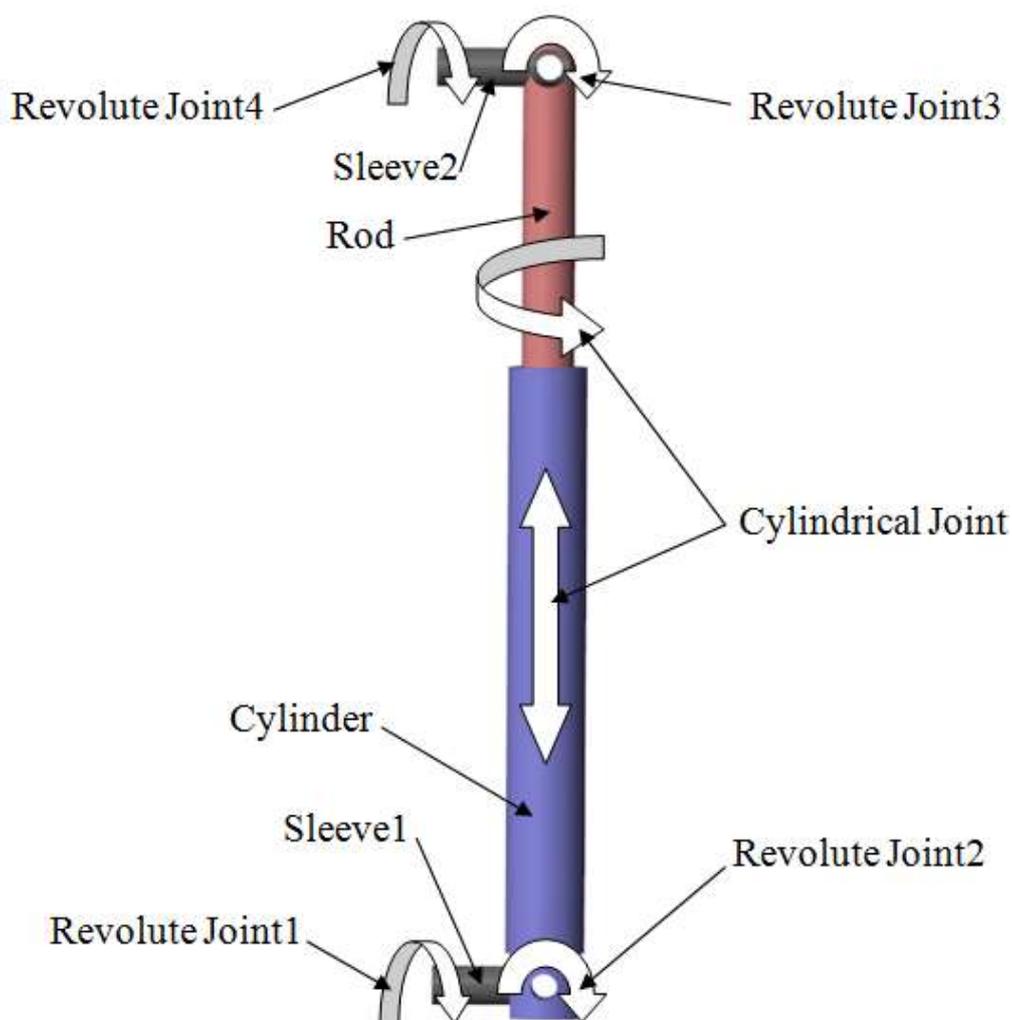


Рисунок 8 - Назначение блоков в модели Linear Actuator

Результаты исследования. Для примера был взят канал рыскания, т.е. вращение вокруг вертикальной оси, показанный на рисунке 3. Входным параметром для канала является величина выдвижения приводов, которая изменяется по синусоидальному закону, а выходной величиной является шесть сигналов управления приводами. На рисунках 9-12 представлены 3D-модель и графики движения.

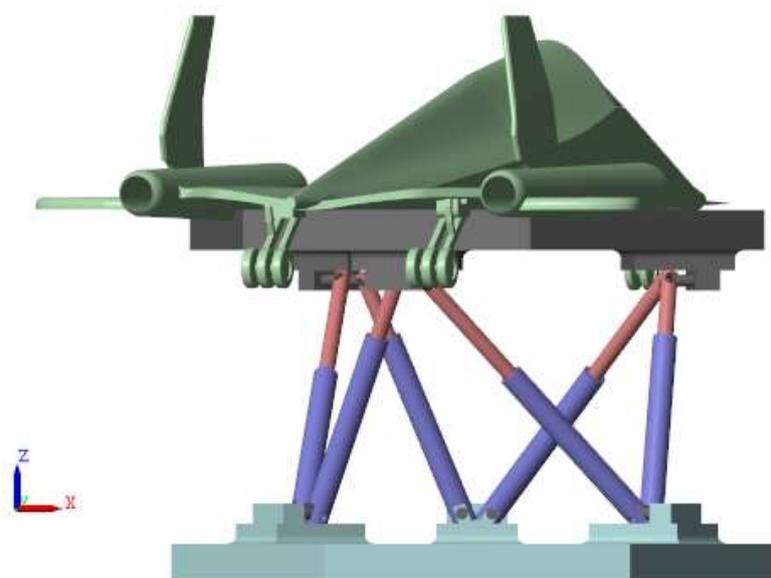


Рисунок 9 - Модель платформы в среде Matlab Simulink

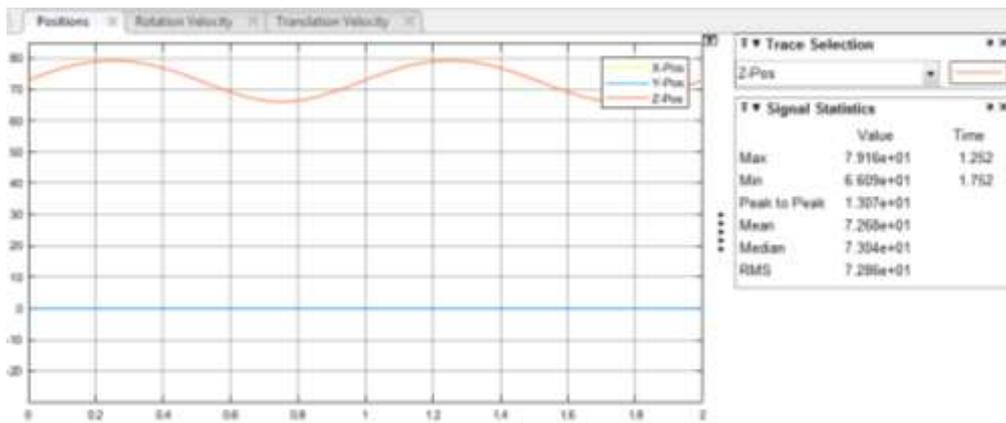


Рисунок 10 - График перемещения платформы вдоль оси Z

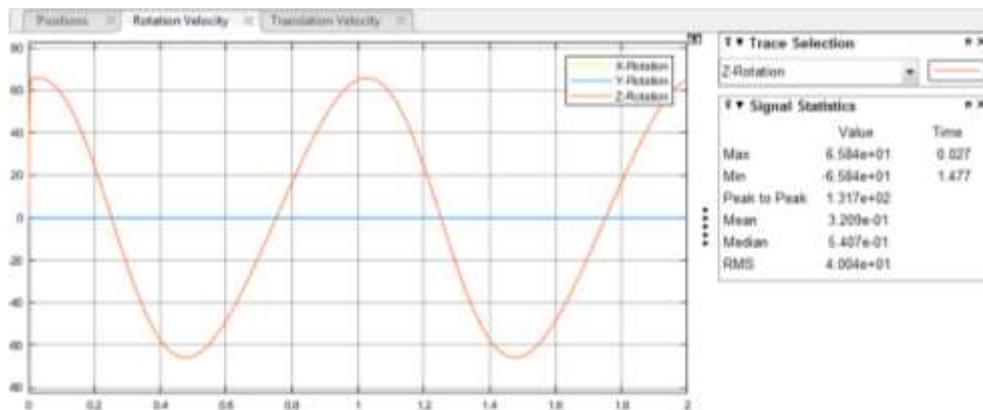


Рисунок 11 - График изменения скорости вращения вокруг оси Z

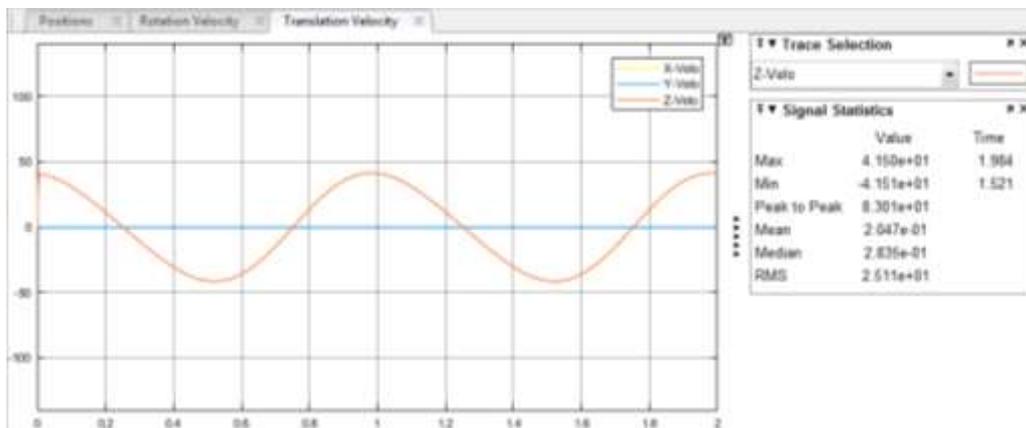


Рисунок 12 - График изменения скорости перемещения вдоль оси Z

На рисунке 11 показана скорость вращения вокруг вертикальной оси, что является полезным движением. На рисунке 12 показана скорость перемещения вдоль вертикальной оси. А на рисунке 10 показано перемещение, пропорциональное скорости вдоль вертикальной оси, которое является паразитным движением. Отсюда можно сделать вывод, что регулятор не обеспечивает "чистоту" движения, т.к. помимо рыскания присутствует вертикальное перемещение.

Для предотвращения паразитных движений было предложено разбить двигатели на две группы: тяговые и компенсирующие. Для рассмотренного выше движения примем первый, третий и пятый двигатель как тяговые, а второй, четвертый и шестой как компенсирующие и подадим на них сигналы, пропорциональные скорости перемещения вдоль оси Z с обратным знаком. Обновленный регулятор представлен на рисунке 13. Результаты применения компенсирующих двигателей показаны на рисунках 14-16.

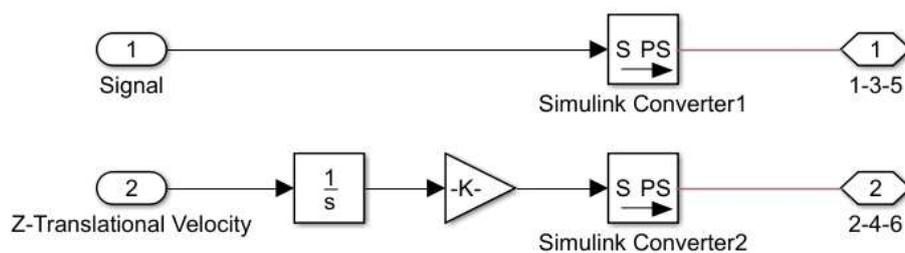


Рисунок 13 - Структура обновленного регулятора

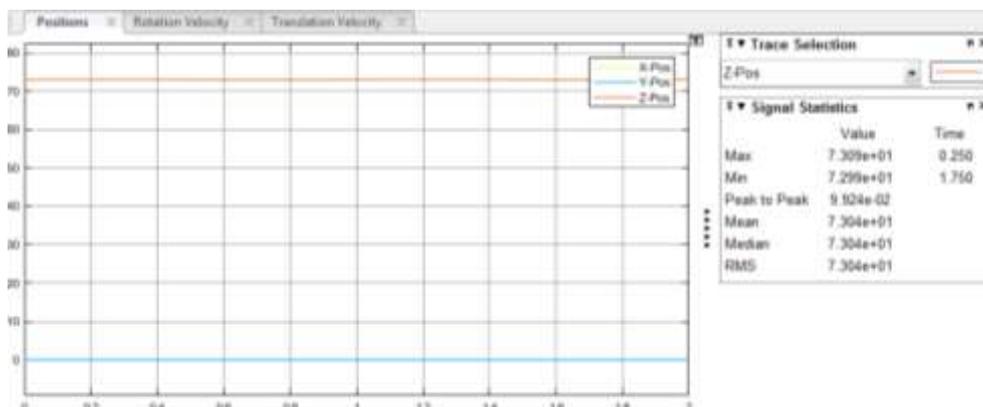


Рисунок 14 - График изменения перемещения по оси Z

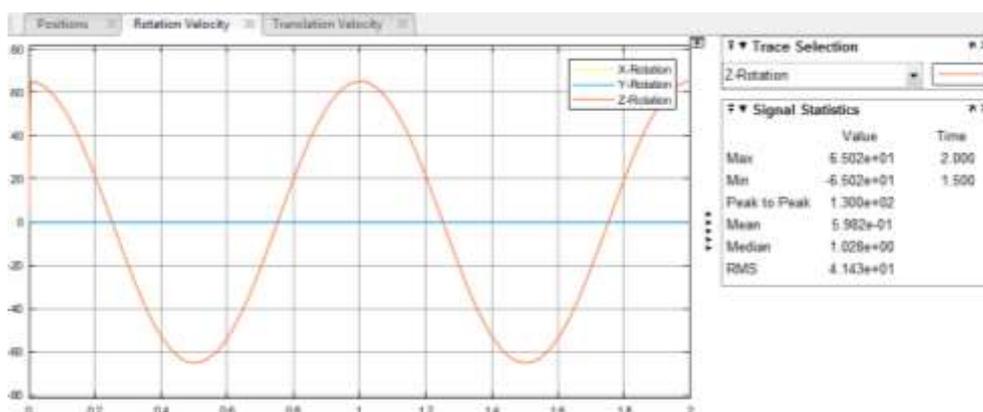


Рисунок 15 - График изменения скорости вращения вокруг оси Z

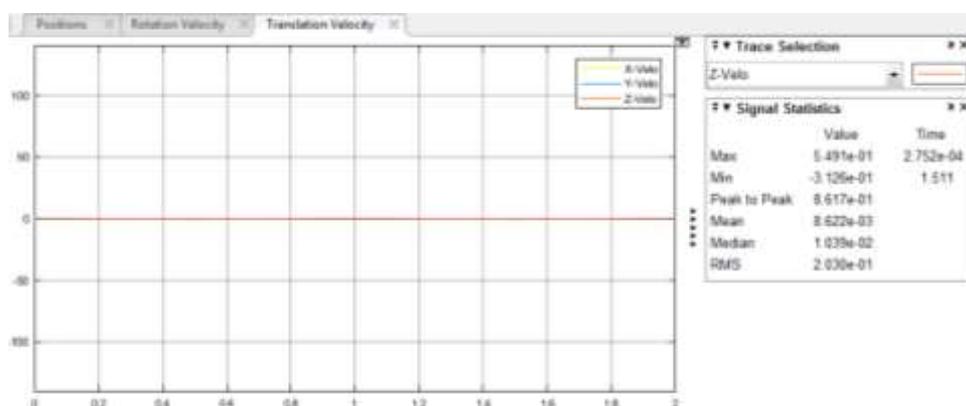


Рисунок 16 - График изменения скорости перемещения вдоль оси Z

Из графиков видно что подход с компенсирующими двигателями обеспечивает "чистоту" движения платформы по заданному каналу. Регулировкой коэффициента усиления можно добиться уменьшения величины скорости перемещения вдоль вертикальной оси. По такому же принципу строится управления платформой по другим каналам.

Объединение отдельных регуляторов. Для того чтобы платформа двигалась одновременно по нескольким каналам с использованием изолированных движений необходимо определиться с управляющими сигналами для каждого привода. Так как все они связаны через платформу, то участвуют во всех шести движениях и необходимо определиться с результирующим сигналом управления. Было предложено использовать результирующий сигнал как сумму неповторяющихся сигналов управления для каждого привода.

Полученный в результате алгоритм получился конфликтующим по каналам управления и компенсации, т.к. управляющие сигналы для одного канала полностью подавлялись компенсирующими сигналами с других каналов. Было принято решение использовать обратную связь, которая будет отключаться в определенные моменты времени. Назовем такую обратную связь дискретной.

Концепция дискретной обратной связи подразумевает наличие таковой лишь в определенные моменты времени. Так, во время работы канала рыскания отключается компенсация по вращению вокруг оси Z. После того как было введено отключение обратной связи алгоритм стал обеспечивать одновременное движение по другим каналам. Обновленная программная модель представлена на рисунке 17.

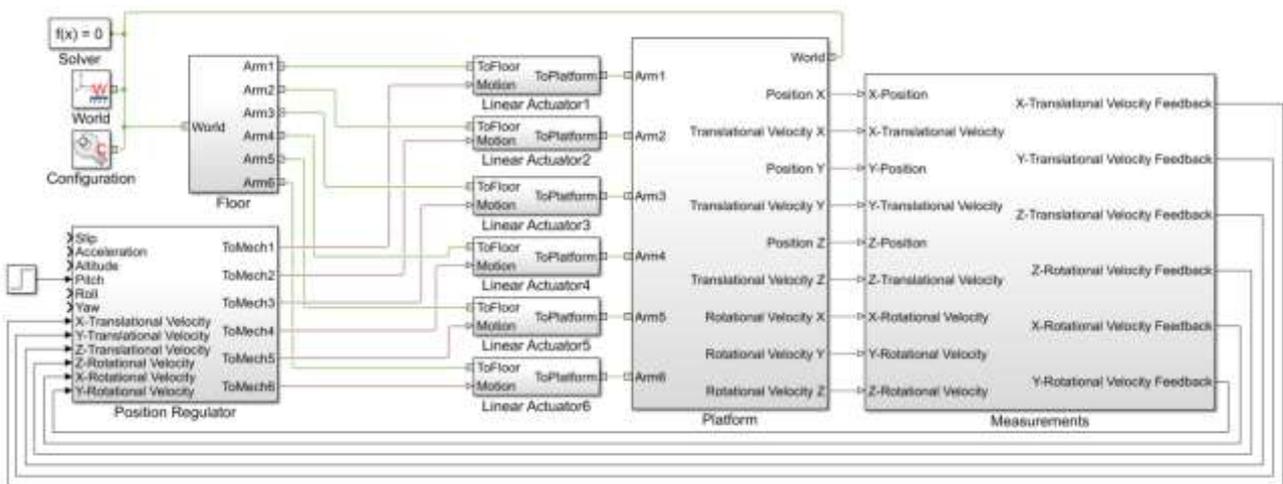


Рисунок 17 - Обновленная программная модель

Блок Position Regulator является регулятором движений, совмещающим все шесть движений на каждый привод и отключающий обратную связь для исключения конфликтов. Вход для каждого канала подаются угловые или линейный скорости в град/с или мм/с. На рисунке 18 представлена структура регулятора.

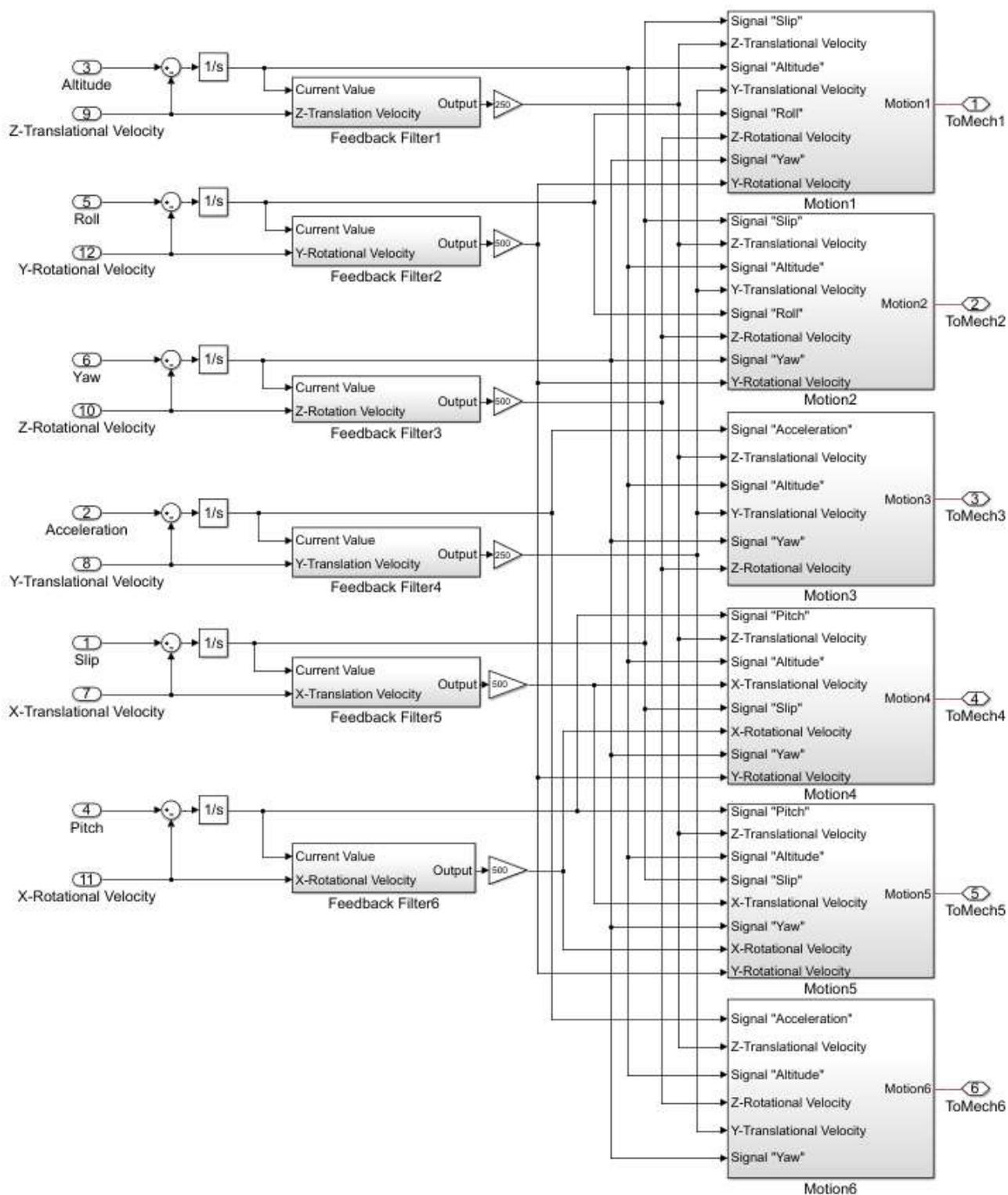


Рисунок 18 - Структура блока Position Regulator

Блоки Feedback Filter обеспечивают отключение сигналов компенсации при наличии полезного сигнала относительно этой же оси. Блоки типовые и их структура представлена на рисунке 19.

Блоки Motion1 - Motion6 являются сумматорами уникальных сигналов на каждый привод. Их структура представлена на рисунках 20(a) - 20(e).

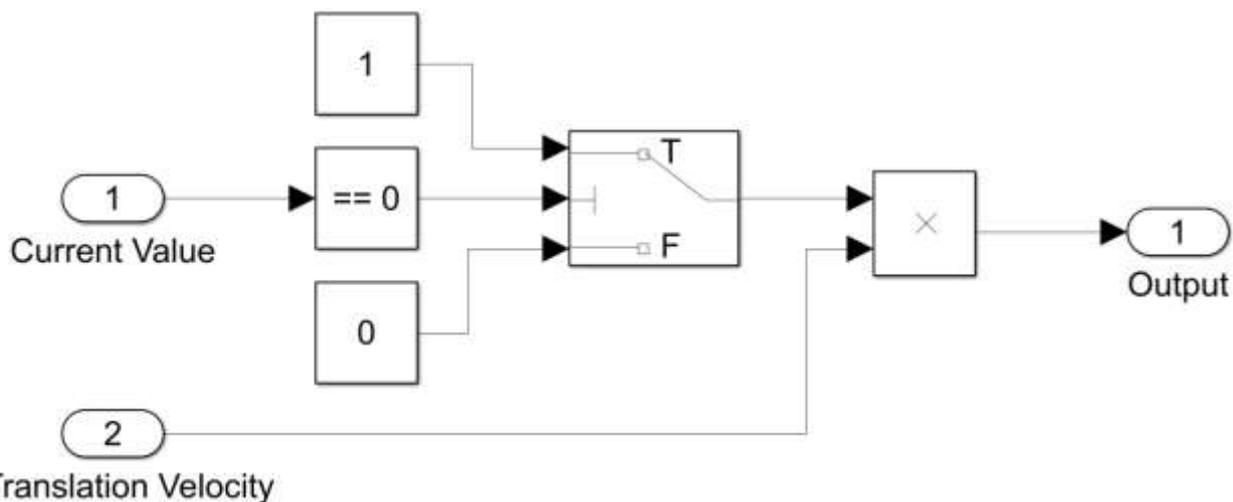
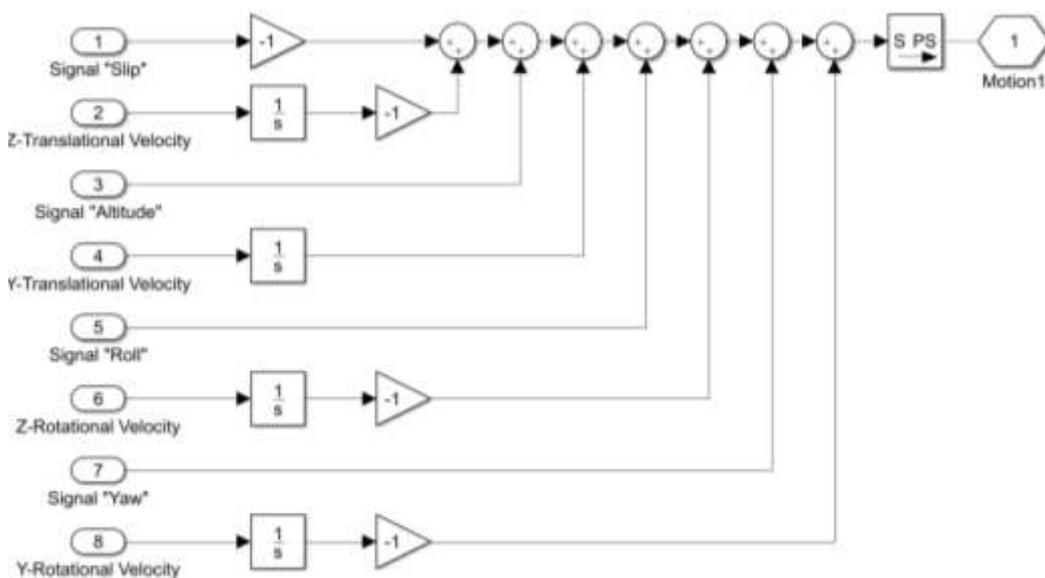
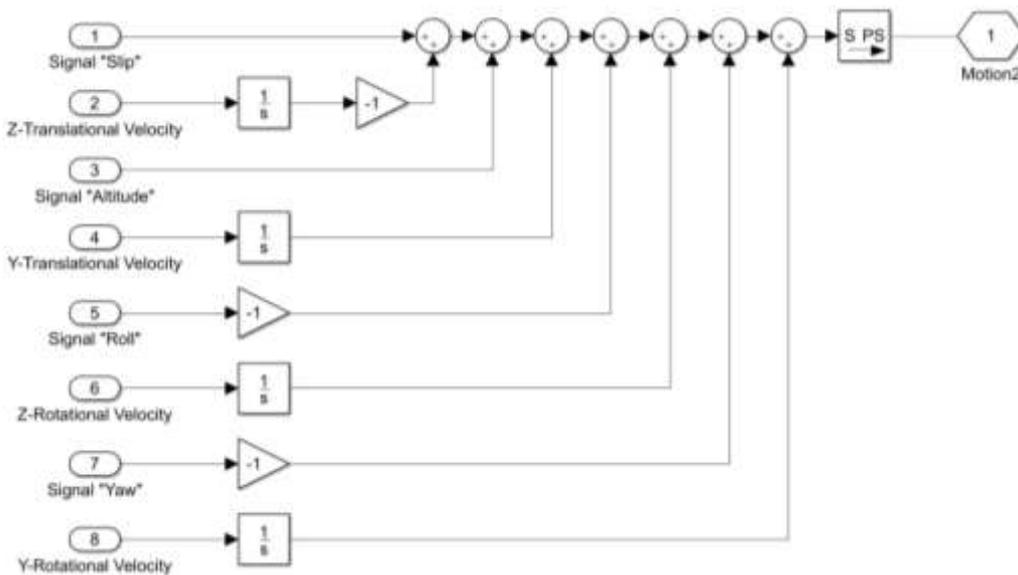


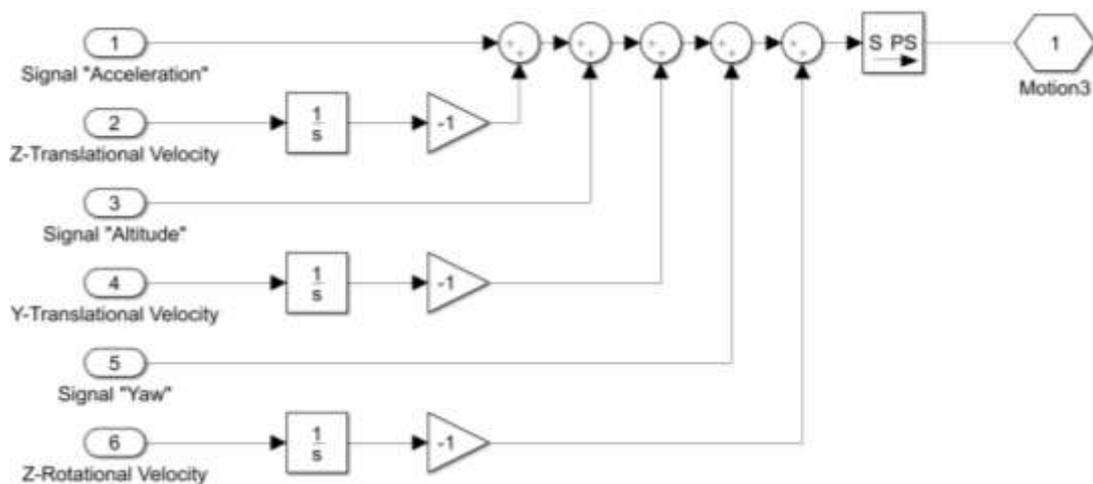
Рисунок 19 - Структура блока Feedback Filter



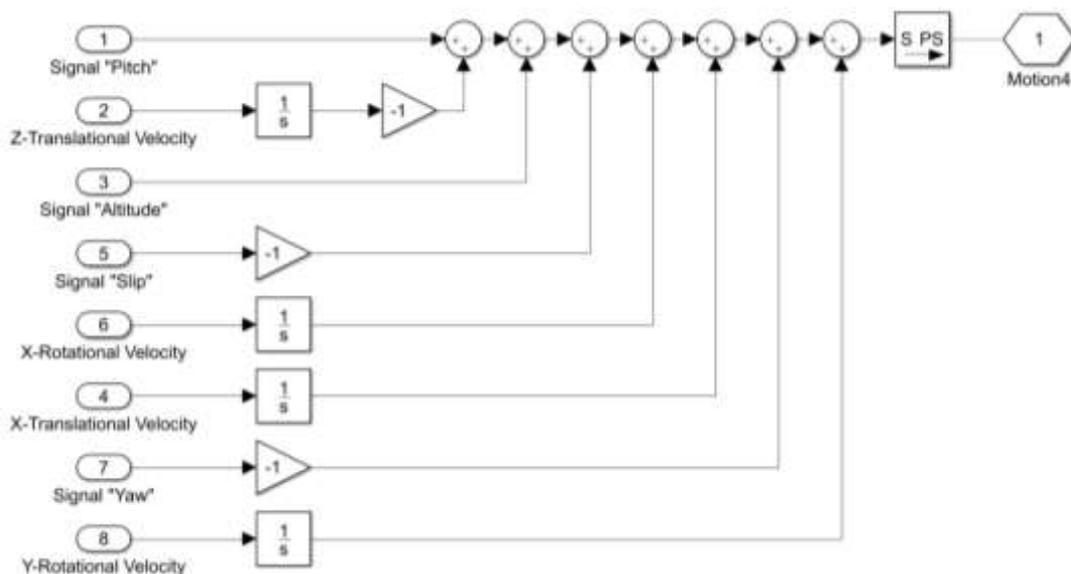
а) Структура блока Motion1



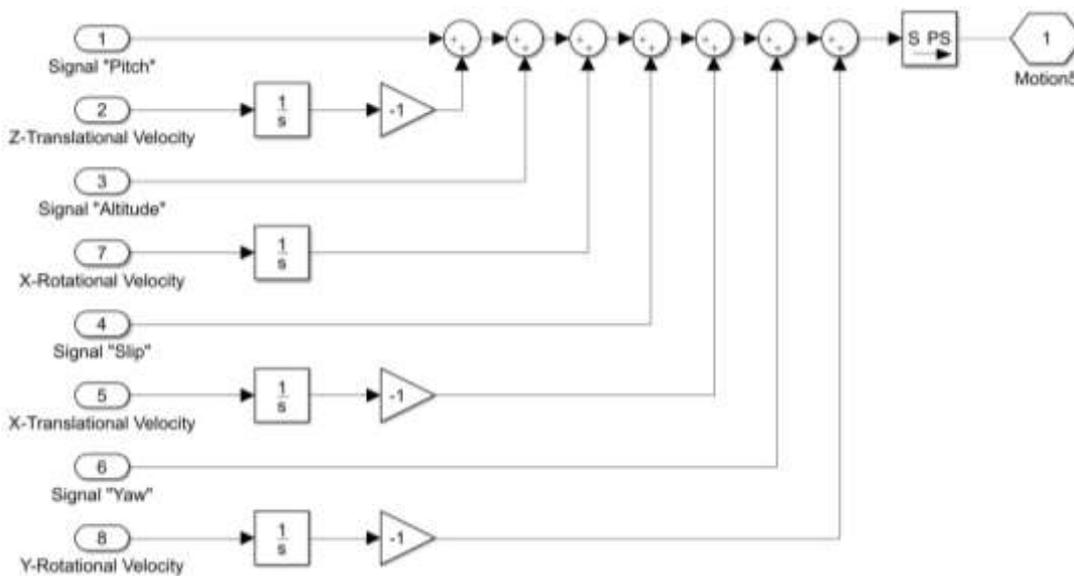
б) Структура блока Motion2



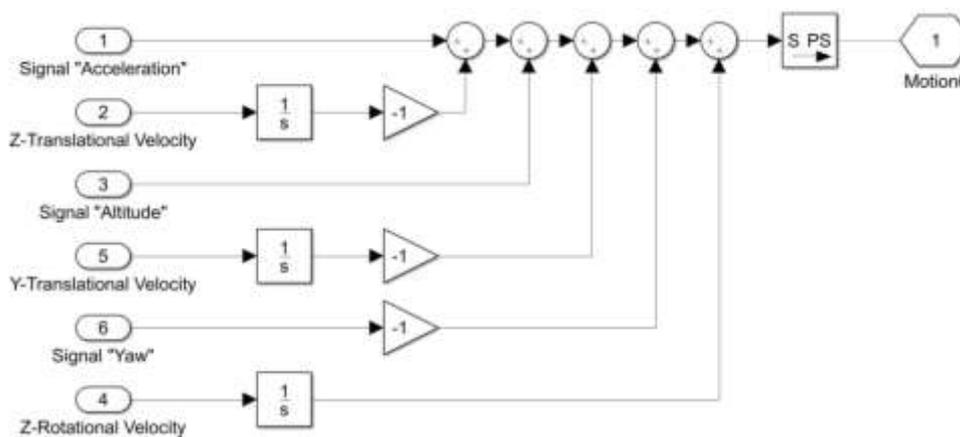
в) Структура блока Motion3



г) Структура блока Motion4



д) Структура блока Motion5



е) Структура блока Motion6

Рисунок 20 - Структура блоков Motion

Результат работы блока Position Regulator при ступенчатом входном сигнале -10 град/с, длительностью одна секунда, поданном на каналы вращательного движения, показан на рисунке 21.

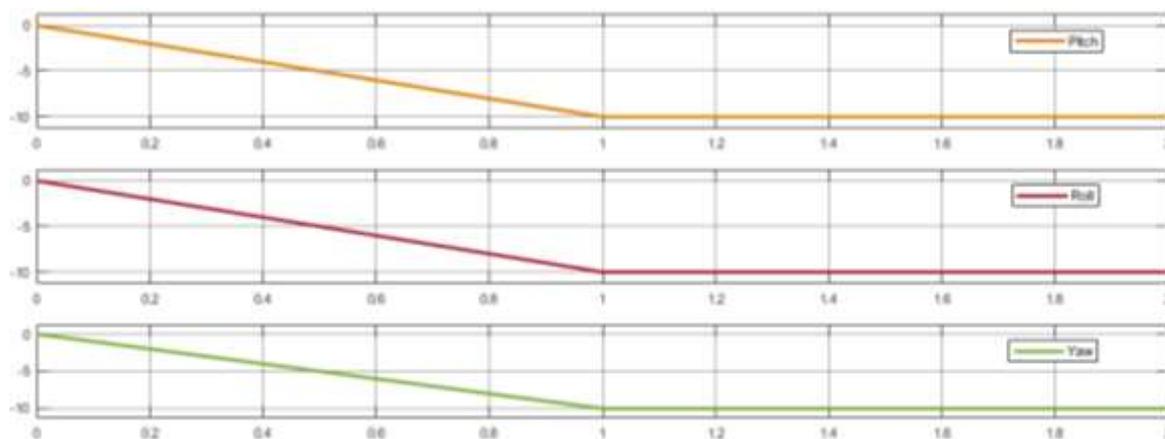


Рисунок 21 - Углы отклонения платформы при ступенчатом входном сигнале

Как видно из графиков, наклон платформы по каждому из каналов по окончании действия сигнала установился на значении 10 градусов. Отсюда можно сделать вывод, что регулятор обеспечивает достаточную точность позиционирования.

Заключение. Использование изолированных движений при разработке алгоритма управления системой подвижности позволяет с достаточной точностью позиционировать платформу без необходимости решать системы уравнений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полнопилотажный тренажер экипажа SSJ-100 // ЦНТУ "Динамика": электронный журнал - <http://www.dinamika-avia.ru/mcenter/forum/detail.php?id=2577>, 2013г.
2. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991. 94 с.
3. Андриевский Б. Р., Арсеньев Д. Г., Зегжда С. А., Казунин Д. В., Кузнецов Н. В., Леонов Г. А., Товстик П. Е., Товстик Т. П., Юшков М. П. Динамика платформы Стюарта // Вестник СПбГУ. Математика. Механика. Астрономия. 2017. Т. 4 (62). Вып. 3. С. 489–506.

REFERENCES

1. Full flight crew training simulator SSJ-100 // CSTS "Dynamics": electronic journal - <http://www.dinamika-avia.ru/mcenter/forum/detail.php?id=2577>

2. Glazunov V.A., Koliskor A.Sh., Krainev A.F. Prostranstvennye mekhanizmy parallel'noi struktury [Spatial mechanisms of the parallel structure]. Moscow, Nauka publ., 1991. 94 p
3. Andrievskiy B. R., Arseniev D. G., Zegzhda S. A., Kazunin D. V., Kuznetsov N. V., Leonov G. A., Tovstik P. E., Tovstik T. P., Yuschkov M. P. Dynamics of the Stewart platform. Vestnik SPbSU. Mathematics. Mechanics. Astronomy, 2017, vol. 4 (62), issue 3, pp. 489–506.

Информация об авторах

Мухопад Юрий Федорович – д. т. н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bts48@mail.ru

Здрачук Сергей Владимирович – магистрант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: s-zdrachuk@mail.ru

Authors

Mukhopad Yuri Fedorovich – Doctor of Technical Science, Professor of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bts48@mail.ru

Zdrachuk Sergei Vladimirovich – post-graduate student of the Department "Automation of production processes", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: s-zdrachuk@mail.ru

Для цитирования

Мухопад Ю.Ф., Здрачук С.В. Алгоритм управления системой подвижности авиационного тренажера // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2020. – №1(6). – С. 15-27. DOI: 10.26731/2658-3704.2020.1(6).15-27 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/16-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 20.01.2020)

For citation

Mukhopad Y.F., Zdrachuk S.V. Control algorithm of the aircraft simulator mobility system // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2020. No. 1(6). P. 15-27. DOI: 10.26731/2658-3704.2020.1(6).15-27 [Accessed 20/01/2020]