МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт Энергетики и машиностроения

Кафедра Инженерной механики

Максикулиев Қуаныш Құрманғазыұлы

# Синтез ведущей цепи и кинематическая модель исполнительного механизма V класса манипулятора с двумя схватами

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 6В07106 – Инженерная механика

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт Энергетики и машиностроения

Кафедра Инженерной механики

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**
Заведующий кафедрой
Инженерной механики,
доктор физ-мат. наук, проф.
_____ А. Калтаев
"05" июня 2023 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Синтез ведущей цепи и кинематическая модель исполнительного механизма V класса манипулятора с двумя схватами»

6В07106 – Инженерная механика

Выполнил Максимкулиев Қ. Қ.

Рецензент
канд. техн. наук, ассоц. профессор
_____ Н.К. Джамалов
(подпись)
«05» июня 2023 г.

Научный руководитель
канд. техн. наук, ассоц. профессор
_____ М.Б. Измамбетов
(подпись)
«05» 06 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра инженерной механики

6В07106 – Инженерная механика

**УТВЕРЖДАЮ**
Заведующий кафедрой
Инженерной механики,
доктор физ-мат. наук, проф.
_____ А. Калтаев
"06" июня 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**
**на выполнение дипломного проекта**

Обучающемуся *Максимкулиеву Куаныш Курмангазыулы*

Тема: *«Синтез ведущей цепи и кинематическая модель исполнительного механизма V класса манипулятора с двумя схватами»*.

Утверждена *приказом № 408-П/Ѳ от 23.11.2022 г.*

Срок сдачи законченной работы: *« 07 » июня 2023 г.*

Исходные данные дипломного проекта: *Кинематическая схема параллельного манипулятора V класса с двумя схватами*

Краткое содержание дипломной работы:

*а) Введение. Обзор литературы по теме работы;*

*б) Структурный синтез паралельного манипулятора V класса с двумя схватами;*

*в) Синтез ведущей цепи для одноподвижного манипулятора V класса.*

*г) Разработка кинематической модели параллельного манипулятора V класса с двумя схватами в Autodesk Fusion 360.*

Перечень графического материала: *представлены 15 слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: *из 10 наименований*

**ГРАФИК**

подготовки дипломного работы

| Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю | Примечание |
|---|---|---|
| Введение. Обзор литературы по теме работы | 06.02.2023-19.02.2023 | |
| Структурный синтез паралельного манипулятора V класса с двумя схватами | 20.02.2023-19.03.2023 | |
| Синтез ведущей цепи для одноподвижного манипулятора V класса | 20.03.2023-16.04.2023 | |
| Разработка кинематической модели параллельного манипулятора V класса с двумя схватами в Autodesk Fusion 360. | 17.04.2023- 14.05.2023 | |
| Анализ полученных результатов, оформление работы | 15.05.2023-31.05.2023 | |

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

| **Наименования разделов** | **Консультанты, И.О.Ф (уч. степень, звание)** | **Дата подписания** | **Подпись** |
|---|---|---|---|
| Нормоконтролер | Бекенов Е.Т., канд. техн. наук, ассоц. профессор | 06.06.2023 | |

Научный руководитель _____ Измамбетов М. Б.
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Максимкулиев Қ. Қ.
(подпись)

Дата «____» _____ 2023 г.

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыста V класты параллельді екі қысқышты (ПМ) манипуляторға арналған иінді жетекші тізбекті кинематикалық синтездеу міндеті қарастырылғды. Қарастырылып отырған ПМ монтаждау жұмыстарының процестерін автоматтандыру үшін, сондай-ақ жаппай өндірісті конвейерлік ұйымдастыру кезінде өңдеудің әртүрлі кезеңдері арасында екі объектіні (бөлшектерді) бірге жылжыту құралы ретінде пайдаланылуы мүмкін. Манипулятордің құрылымдық синтездеу процедурасы сипатталған. Жетекші тізбектің синтезі орташа жылдамдық коэффициенті бойынша орындалды [1], сілтемелердің сызықтық өлшемдері және иінді тірек буынының орны анықталды. Autodesk Fusion 360-та ПМ моделі жасалды. Алынған нәтижелерді талдау манипулятордың өнімділігін, берілген орташа жылдамдық коэффициентімен жиырылу қозғалыстарын ойнатудың жақсы дәлдігін көрсетеді және жиырылу қозғалысының жылдамдығы бойынша басқару мәселесі есепке алынбайды.



## АННОТАЦИЯ

В дипломной работе рассмотрена задача кинематического синтеза ведущей цепи с кривошипом для параллельного манипулятора V класса с двумя схватами (ПМ). Рассматриваемый ПМ может быть использован для автоматизации ручных процессов монтажных работ, а также как средство для одновременного перемещения двух объектов (деталей) между различными стадиями их обработки при конвейерной организации массового производства. Описана процедура структурного синтеза этого манипулятора. Синтез ведущей цепи выполнен по коэффициенту средней скорости [1], определены линейные размеры звеньев и положение опорного шарнира кривошипа. Разработана модель ПМ в Autodesk Fusion 360. Анализ полученных результатов показывает работоспособность манипулятора, хорошую точность воспроизведения движений схватов с заданным коэффициентом средней скорости и исключается вопрос управления по скорости движениями схватов.



## ANNOTATION

This diploma addresses the problem of kinematic synthesis of the driving chain with a crank for a parallel manipulator of the V class with two grippers (PM). The considered PM can be used for automating manual assembly processes, as well as a means for simultaneous movement of two objects (parts) between different stages of their processing in conveyorized mass production. The procedure for the structural synthesis of this manipulator is described. The synthesis of the driving chain is performed based on the average velocity coefficient [1], determining the linear dimensions of the links and the position of the supporting hinge of the crank. A model of the PM is developed using Autodesk Fusion 360. The analysis of the obtained results demonstrates the functionality of the manipulator, the accuracy in reproducing the movements of the grippers with the specified average velocity coefficient and the issue of controlling the velocity of the gripper movements is eliminated.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение 6
1 Общие понятия о манипуляторах 8
1.1 Понятие мехатроники, сведения о манипуляторе 8
1.2 Виды системы координат в промышленных манипуляторах 12
2 Структура параллельного манипулятора V класса с сдвумя схватами 16
2.1 Особенности работы антропоморфных манипуляторов 16
2.2 Структура и параметры манипулятора V класса с двумя схватами 17
2.3 Синтез ведущей кинематической цепи с кривошипным звеном 20
3 Кинематическая модель параллельного манипулятора V класса 25
3.1 Модель параллельного манипулятора V класса в среде Linkage MDS 25
3.2 3D модель параллельного манипулятора V класса в программном комплексе Autodesk Fusion 360 26
3.3 Кинематика параллельного манипулятора с двумя схватами 32
Заключение 37
Список использованной литературы 38
Приложение А 39

# ВВЕДЕНИЕ

Изначально в давние времена люди сами работали в трудоемких работах. Во время работы они подвергали себя большому риску, и работа занимала много времени. Человек начал адаптироваться и понял, что, работая в таком темпе, он многого не добьется. Он начал автоматизировать свою выполняемую работу с помощью роботов. Ведь у робота не имеется человеческих нужд, робот работает без усталости, следовательно не делает перерывов и ошибок. Робот может работать там, где человеку не под силами, в таких опасных местах как исследование морских глубин, исследование поверхности других планет, в местах, где большая радиация способная причинить вред здоровью человека. Но все упомянутое выше было уже адаптировано позже, изначально роботы были созданы для выполнения повторяющихся, опасных или трудоемких задач, которые были слишком сложными, отнимающими слишком много времени. В целом создание роботов было вызвано желанием повысить эффективность, безопасность и производительность, а также исследовать новые горизонты и улучшить качество жизни людей. Сейчас по всему миру всякими способами пытаются развить роботостроение, придумываются новые модели роботов, усовершенствуются старые модели. Роботы внедряются во все сферы человеческой деятельности, например: в медицине создан робот мерить человеческую температуру, в военном деле спроецирован робот способный сам разминировать вражескую мину. Создан и совершенствуется искусственный интеллект, способный обмениваться информацией. Такое развитие не обошло и нашу страну, повсеместно внедряются роботы, которые ускоряют процесс работы и делают работу более автоматизированным.

Анализ современного состояния развития робототехники показывает, что конструкция исполнительных механизмов манипуляционных роботов, в основном представляет собой антропоморфную (рукообразную) структуру [1-3]. Антропоморфные манипуляторы имеют незамкнутые кинематические цепи, подвержены большим изгибным деформациям, а также реверсивным движениям приводов, что в итоге приводят к снижению коэффициента полезного действия. В настоящее время явно наблюдается тенденция использования манипуляторов с параллельной структурой, исполнительные механизмы которых выполнены в виде замкнутых кинематических цепей [4, 5]. Манипуляционные роботы с параллельной структурой обладают повышенной жесткостью, большей грузоподъемностью и имеют высокую точность позиционирования.

В промышленности имеются технологические процессы, где требуется одновременное или последовательное выполнение различных операций, например, в штамповочных производствах, в погрузочно-разгрузочных работах. При одновременном или последовательном выполнении таких операций целесообразно использовать манипуляторы с несколькими рабочими органами.

В работе [6] изложены методы структурного и кинематического синтеза, а также приведены методы и алгоритмы кинематического, динамического и кинетостатического исследования исполнительных механизмов манипуляторов

с параллельной структурой с двумя рабочими органами. Получена кинематическая схема одноподвижного параллельного манипулятора V класса с двумя схватами [7].

Целью данной дипломной работы является синтез ведущей цепи и разработка кинематической модели исполнительного механизма манипулятора V класса с двумя схватами.

Задачи дипломной работы:

- синтезировать ведущую цепь с кривошипным ведущим звеном для параллельного манипулятора V класса с двумя схватами с учетом коэффициента изменения средней скорости;
- создать кинематическую модель рассматриваемого параллельного манипулятора в программном комплексе Autodesk Fusion.

## 1 Общие понятия о манипуляторах

### 1.1 Понятие мехатроники, сведения о манипуляторе

В нашем мире образовались такие два между собой связанных понятия как «мехатроника» и «робототехника». Можно спокойно уверять, что наука «робототехника» происходит от «мехатроники». Термин «мехатроника» был введен в 1969 году инженером Стецюра Мориа, термин представляет собой связку из двух уже слов – "mecha", что означает механика и "tronic", происходящий из слова электроника [8, 9].

Промышленный робот манипулятор является универсальной, многоцелевой машиной, способной обеспечивать некоторые возможности человека с помощью заранее подготовленных пакетов программирования для обеспечения вывода тех или иных задач. В наше время повсеместно используются промышленные роботы для упрощения работы человека. На рисунке 1.1 изображены производственные манипуляторы, которые занимаются сборкой автомобиля.

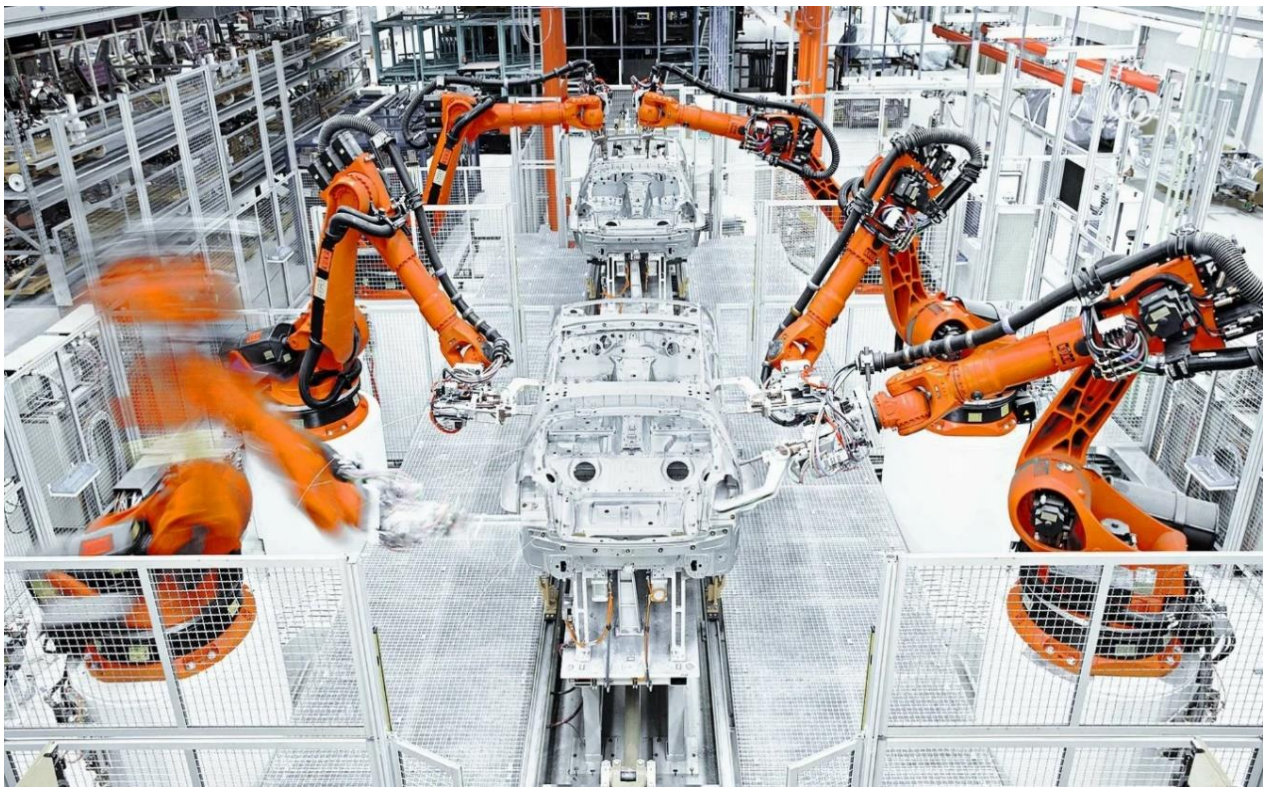

Рисунок 1.1 – Производственные манипуляторы

Исполнительные механизмы манипуляторов имеют различные структуры и постоянно совершенствуются, улучшаются. При этом все большую эффективность в использовании в манипуляционных устройствах приобретают механизмы с замкнутой структурой, называемые механизмами параллельной структурой. Следует отметить, что механизмы высоких классов по Ассуру, благодаря своим высоким функциональным возможностям также позволяют

улучшать характеристики манипуляторов. Параллельные манипуляторы на основе групп Асуры высоких классов имеют ряд преимуществ. Высокая структурная жесткость повышает грузоподъёмность, точность позиционирования.

Манипулятор – это механическая система, состоящая из звеньев и сочленений, которые позволяют перемещать конечный инструмент в разных направлениях и плоскостях. Многие манипуляторы состоят из звеньев, соединение в которых происходит за счёт вращательных и поступательных кинематических пар. Сейчас вращательная система координат является более конкурентно способной среди остальных, потому что она имеет преимущество. Такое преимущество как большая рабочая зона. Рассматривая, манипуляторы как объект дисциплины теория механизмов и машин, можно сказать, что эти устройства представляют собой системы, состоящие из некоторых тел, которые необходимы для преобразования перемещения тел в нужные точки в плоскости или в пространстве. Исходя из этого, можно сказать, что манипуляторы – это плоские или пространственные механизмы с необходимым для обеспечения работы и функций числом степеней свободы. Звеньями представляются твёрдые тела, которые входят в механическую систему манипулятора. Два подвижных звена, соединенных друг с другом называют кинематической парой [10].

Кинематические пары классифицируются следующим образом: по числу связей, по числу степеней свободы. Кинематическая пара – это звенья, которые соединяясь между собой, образуют кинематическую пару. В механике число степеней свободы определяет количество независимых координат, необходимых для описания положения твердого тела в пространстве. На рисунке 1.2 представлены виды кинематических пар, которые делятся на виды по числу подвижности или по числу наложенных на их относительные движения связей. Они также делятся по формам элементов соприкосновения на высшие и низшие кинематические пары. Если элементами пар являются точка или линия она называется высшей, а если элементами пар являются поверхности, то такие пары называются низшими.

Структурная группа Ассура – это такая кратчайшая кинематическая цепь, которая образованна низшими парами пятого класса, при присоединении которой к любому плоскому механизму степень его подвижности не меняется. Группа названа именем Леонида Владимировича Ассура, который и разработал методику их образования в 1916 году. Группы Ассура делятся на классы, виды и порядки:

- класс группы Ассура определяется классом наивысшего контура, входящего в неё;
- вид группы Ассура определяется сочетанием вращательных (шарниров) и поступательных (ползунов) кинематических пар в данной группе;
- порядок группы Ассура определяется по числу кинематических пар, которыми она крепится к механизму.

На рисунке 1.3 изображена таблица группы Ассура.

| По числу степеней свободы и числу связей. | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Степени свободы | Число связей (класс пары) | Название пары | Рисунок | Условное обозначение |
| 1 | 5 | *Вращательная* | | |
| 1 | 5 | *Поступательная* | | |
| 1 | 5 | *Винтовая* | | |
| 2 | 4 | *Цилиндрическая* | | |
| 2 | 4 | *Сферическая с пальцем* | | |
| 3 | 3 | *Сферическая* | | |
| 3 | 3 | *Плоская* | | |
| 4 | 2 | *Цилиндр-плоскость* | | |
| 5 | 1 | *Шар-плоскость* | | |

Рисунок 1.2 – Виды кинематической пары

Манипуляторы могут иметь ручное управление, либо программное, с помощью компьютера. В наше время в производстве используются манипуляторы, обладающие шестью или более степенями свободы. Благодаря этому повышается точность позиционирования, а также улучшается ориентация положения рабочего органа в пространстве. На сегодняшний день лидерами в производстве манипуляторов являются фирмы Yaskaws, KUKA, Fanuc.

В данный момент роботостроение широко развилось и продолжает развиваться, в роботов или же устройства был введён искусственный интеллект. Тем самым этим устройствам нашли большое применение в жизни.

Роботы используются во многих сферах человеческой жизни, особенно в таких местах, где человеку трудно или опасно находится. Например, космос или подводный мир изучаются с помощью роботов, эти устройства также облегчили работу в сельском хозяйстве, а также не обошли производство и медицину. На производственных работах железные друзья выполняют всю сложную работу, такую как, перетаскивание тяжелого груза, автоматическая быстрая сборка что позволяет быстрее и качественнее выполнять работу на заводах.

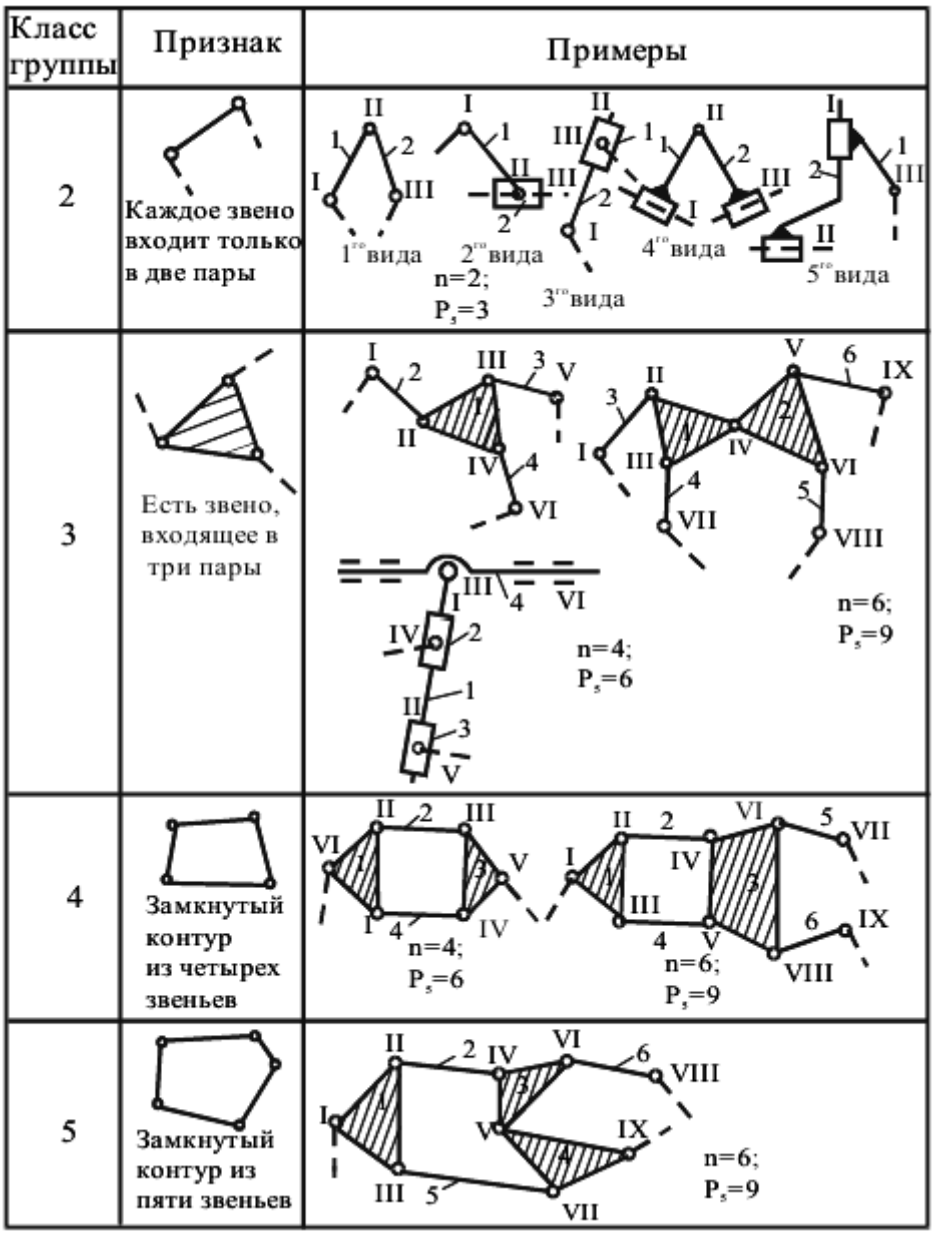


Рисунок 1.3 – Группы Ассура.

Качеством манипулятора является его точность позиционирования в рабочей области, скорость перемещения и контроль над скоростью, а также грузоподъемность. Чтобы манипулятору совершить перемещение тела из начальной точки А в конечную точку Б, необходимо, чтобы манипулятор обладал очень хорошей точностью позиционирования в рабочей области, а также имел достаточную грузоподъемность, также чтобы его датчики движения отслеживали его рабочее пространство. Если уследить за этими факторами работа будет выполняться максимально безопасно и без никаких рисков.

Роботизированные такие операций на производственных работах приводят к минимуму влияние различных человеческих факторов, из-за чего повышается

качество изготавливаемой детали. Благодаря этому конечный потребитель ощутит снижение цены на продукцию и повышение её качества. Повысив класс механизма с помощью дополнительных звеньев кинематической цепи, можно увеличить работоспособность и возможности механизма, а также функционал любого устройства. Манипуляторы бывают многозвенными стационарными и подвижными. Подвижные манипуляторы в свою очередь имеют большее число степеней свободы, тем самым эти устройства рассчитаны выполнять различные задачи в более сложном окружении и перемещаться [11].

Манипуляторов как принято различают по предназначению или же по технологическим операциям, которые они выполняют во время работы, по грузоподъемности, по типу силового привода установленном на манипуляторе, по подвижности основания.

По технологическим операциям они бывают трех типов:

- Основные;
- Вспомогательные;
- Универсальные.

По грузоподъемности делятся на шесть типов:

- Сверхлёгкие до 10Н;
- Лёгкие до 100Н;
- Средние до 2000Н;
- Тяжелые до 10000Н;
- Сверхтяжелые свыше 10000Н.

По типу силового привода бывают четырех типов:

- Электромеханические;
- Пневматические;
- Гидравлические;
- Комбинированные.

По подвижности основания различают всего два вида:

- Мобильные;
- Стационарные.

## 1.2 Виды системы координат в промышленных манипуляторах

При моделировании промышленного манипулятора возникает такое затруднение как выбор кинематической структуры устройства для выполнения работы. Как принято в большинстве роботов, которые выполняют различные операции, похожих на человеческую руку, им нужно имеют кисть, плечо и запястье. Смотря на это, кинематическая схема манипулятора примет вид похожей на человеческую руку. Для более простых операции потребуются меньше степеней подвижностей в количестве двух штук, а если необходимо задать перемещение посложнее и увеличить рабочую зону манипулятора, то нужно увеличить количество степеней свободы, от трёх и более степеней

свободы для перемещения тела в заданные ранее координаты в пространстве зоны обслуживания робота манипулятора [11].

Для управления звеньями манипулятора как принято, требуется специальный индивидуальный привод, который нужно выбрать, благодаря которому исполнительный механизм манипулятора, то есть схват начнет перемещаться в нужную область для работы. Современные роботы оснащены пневматическими, гидравлическими и электромеханическими приводами.

Наиболее самыми распространёнными кинематическими схемами в проектировании и синтезе манипулятора являются следующие четыре схемы: декартова система координат, ангулярная система координат, сферическая система координат, а также цилиндрическая система координат [12, 13].

Декартова система координат является одной из основных систем координат, используемых в инженерии и науке. Она широко применяется в различных областях, которые связанны с механикой и робототехникой. Суть декартовой системы в том, что координаты в декартовой системе обычно задаются в метрах или других единицах длины. Ось X направлена вдоль первого звена манипулятора, ось Y – вдоль второго звена манипулятора, а ось Z – вдоль третьего звена манипулятора. Нулевая точка декартовой системы координат обычно как правило выбирается в начале координат манипулятора, например, в точке сочленения основания манипулятора и первого звена. На рисунке 1.4 представлен двухзвенный манипулятор, смоделированный на декартовой системе координат.

Рисунок 1.4 – Манипулятор смоделированный на декартовой системе координат

Манипулятор, который спроектированный на ангулярной системе координат, использует угловые координаты для управления движением своих

звеньев. В отличие от манипулятора, который спроектирован на основе прямоугольной системы координат, где координаты задаются в виде (x, y, z), в манипуляторе синтезированном на ангулярной системе координат используются углы, такие как тета (θ), фи (φ) и радиус (r), они нужны чтобы определить положение и ориентацию звеньев манипулятора. На рисунке 1.5 изображен трехзвенный манипулятор спроектированный на ангуляроной системе координат.

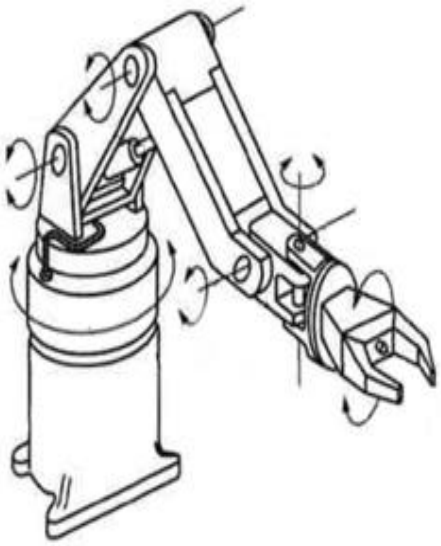

Рисунок 1.5 – Манипулятор спроектированный на ангуляроной системе координат

Манипулятор, спроектированный на сферической системе координат, использует углы азимута (α), угла места (β) и радиуса (r) для управления движением своих звеньев. В отличие от ангулярной системы координат, где используется угол фи (φ) для определения положения звена на сфере, сферическая система координат использует угол места (β), который определяет угол от оси z к звену, и угол азимута (α), который определяет угол между осью x и проекцией звена на плоскость XY. На рисунке 1.6 изображен манипулятор, работающий в сферической системе координат.

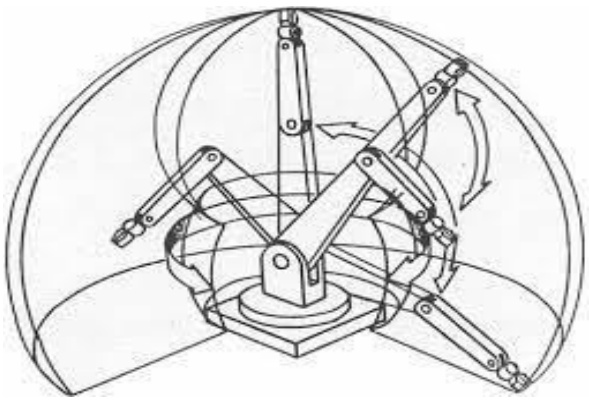

Рисунок 1.6 – Манипулятор, работающий в сферической системе координат

Манипулятор, который спроектирован на цилиндрической системе координат, использует радиус (r), угол поворота (θ) и координату z для управления движением своих звеньев. В отличие от сферической системы координат и ангулярной системы координат, где используются углы для определения положения звена на сфере или в пространстве, цилиндрическая система координат использует расстояние от оси (радиус), угол поворота относительно оси z и координату z, которая определяет положение звена вдоль оси z. На рисунке 1.7 изображен манипулятор, который имеет рабочую зону в виде цилиндра.

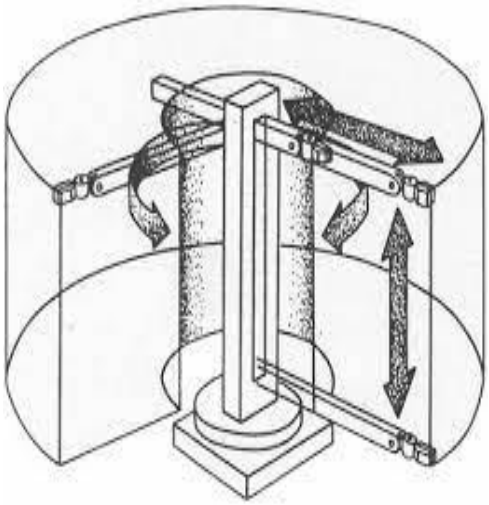

Рисунок 1.7 – Манипулятор, имеющий рабочую зону в виде цилиндра

## 2 Структура паралелльного манипулятора V класса с двумя схватами

### 2.1 Особенности работы антропоморфных манипуляторов

На рисунке 2.1 показан простейший двухзвенный антропоморфный (рукообразный) манипулятор I класса, который работает от двух электродвигателей, установленных в сочленениях звеньев.

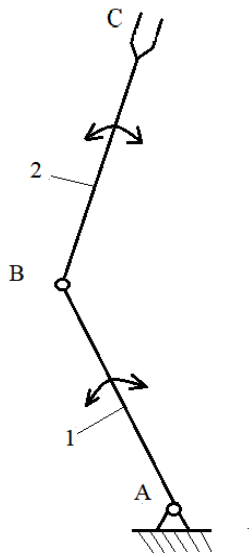


Рисунок 2.1 – Параллельный манипулятор первого класса

С помощью такого двухзвенного манипулятора осуществляется перемещение деталей или заготовок из одного участка обработки на другой, а также их ориентация в его зоне обслуживания. Дальнейшее передвижение обрабатываемой заготовки часто производится другим манипулятором, который захватывает оставленный на определенной позиции предыдущим манипулятором объект и доставляет на следующую позицию технологического процесса. На рисунке 2.2 показан один из вариантов совместной работы двухзвенных манипуляторов $ABP_1$ и $CDP_2$ по манипулированию штампуемого изделия. Первый антропоморфный манипулятор $ABP_1$ в положении $P_{1.1}$ схвата захватывает деталь и перемещает его в промежуточное положение $P_{1(2)N}$ (рисунок 2.2.а). В это время схват $P_2$ второго манипулятора $CDP_2$ из положения $P_{2,1}$ также перемещается в промежуточное положение $P_{1(2),N}$ (рисунок 2.2.б). В данном промежуточном положении заготовка меняет свою ориентацию и захватывается схватом $P_2$ второго антропоморфного манипулятора $CDP_2$. Затем схваты двухсерийных манипуляторов возвращаются в свои исходные положения $P_{1,1}$и $P_{1,2}$. Должны заметить, что в трех характерных позициях рабочие органы манипуляторов должны иметь нулевые скорости. Таким образом, два разных

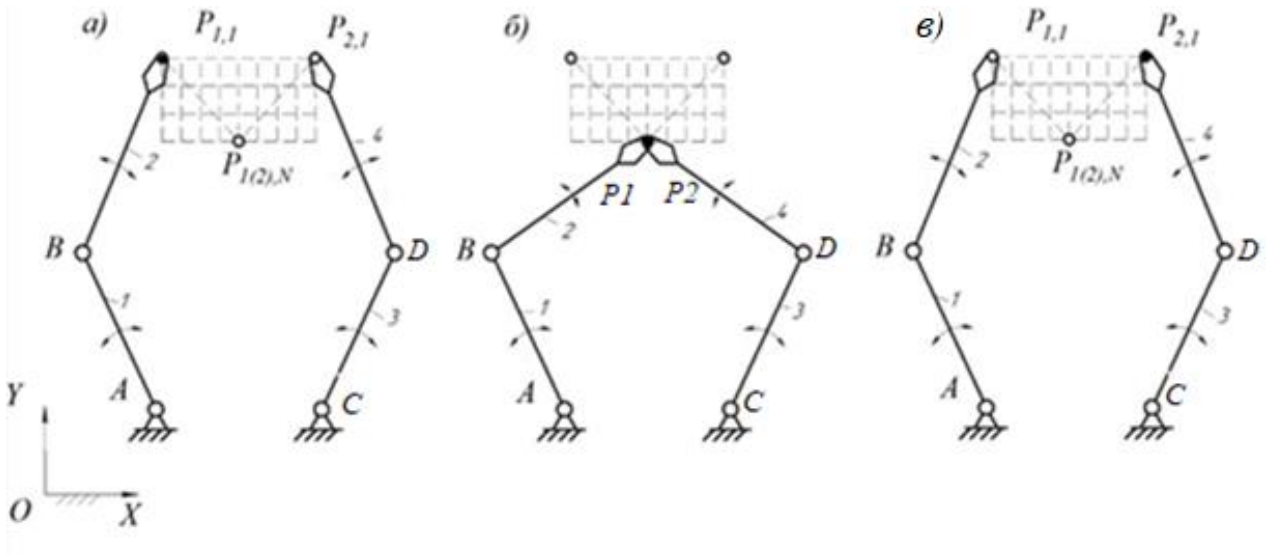


Рисунок 2.2 – Совместная работа двух антропоморфных манипуляторов

манипулятора с пересекающимися зонами обслуживания выполняют повторяющиеся стереотипные движения. При этом все 4 электродвигателя расположенные в сочленениях звеньев работают в реверсивных режимах разгона и торможения. Это приводит к дополнительным энергозатратам, а также требует разработки сложной системы управления каждым из этих манипуляторов. При таком одновременном или последовательном выполнении указанных стереотипных операций целесообразно использовать манипуляторы с несколькими рабочими органами.

## 2.2 Структура и параметры манипулятора V класса с двумя схватами

Исполнительный механизм параллельного манипулятора с двумя схватами или рабочими органами $P_1$ и $P_2$ структурно формируется из двух манипуляторов $ABP_1$ и $CDP_2$, воспроизводящие заданные законы движения.

Согласно формуле Чебышева, каждый из манипуляторов $ABP_1$ и $CDP_2$ обладает двумя степенями свободы

$$W = 3n - 2p_5,$$

где $n$=2, $p_5$=2.

Соединяем звенья $BP_1$ и $DP_2$ манипуляторов $ABP_1$ и $CDP_2$ бинарным звеном $EF$ с вращательными кинематическими парами (рисунок 2.3). Поскольку бинарное звено $EF$ накладывает одну геометрическую связь, то получим кинематическую схему $ABEFDC$ с тремя степенями свободы. Далее, соединяя звено $EF$ со стойкой с помощью бинарного звена $GH$, также с вращательными парами, получим манипулятор III класса, имеющего две степени свободы. При

этом входными звеньями являются звенья *AB* и *CD*. Структурная формула сформированного параллельного манипулятора с двумя схватами имеет вид:

$$\text{I}\,(1) \rightarrow \text{III}\,(2,5,6,4) \leftarrow \text{I}\,(3)$$

То есть он относится к манипуляторам третьего класса.

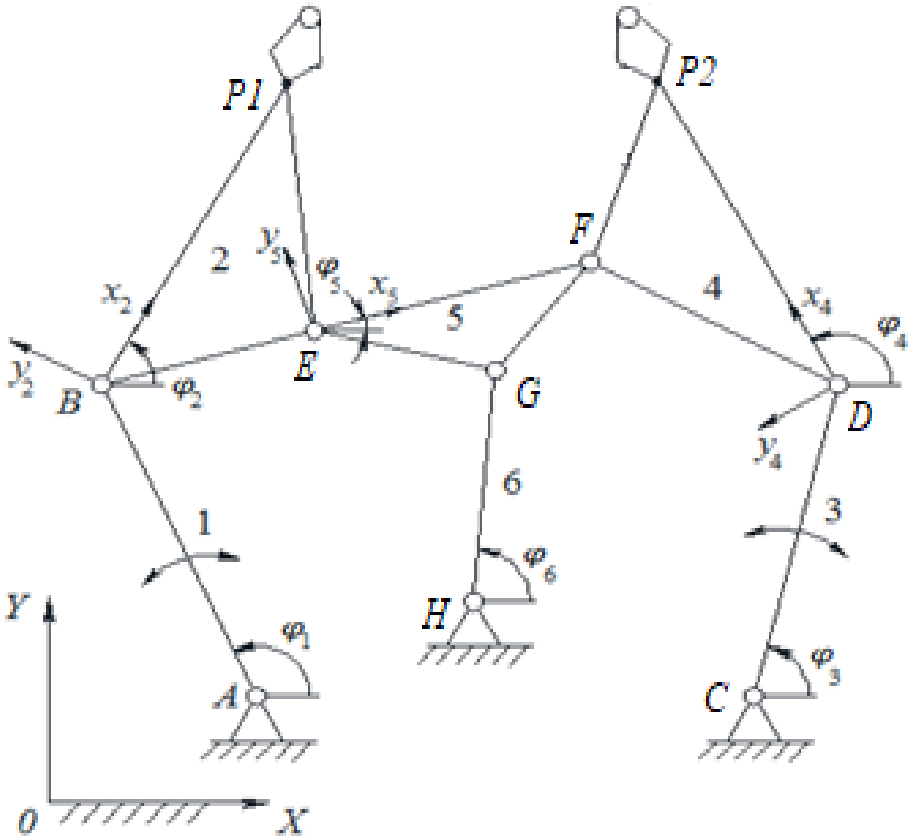


Рисунок 2.3 – Параллельный манипулятора третьего класса с двумя схватами

Из полученного параллельного манипулятора третьего класса с двумя степенями свободы можно сформировать параллельный манипулятор пятого класса с одной степенью свободы. Для этого потребуется соединить звенья *CD* и *GH* данного параллельного манипулятора с помощью бинарного звена *IK* с вращательными парами, как показано на рисунке 2.4. В результате получаем структурную схему параллельного манипулятора пятого класса с двумя схватами, который имеет структурную формулу вида:

$$I(1) \rightarrow V(2,5,6,4,3,7).$$

Таким образом, полученный одноподвижный параллельный манипулятор V класса с двумя схватами воспроизводит заданные законы движения двух точек $P_1$ и $P_2$ по заданному закону движения одного входного звена 1.

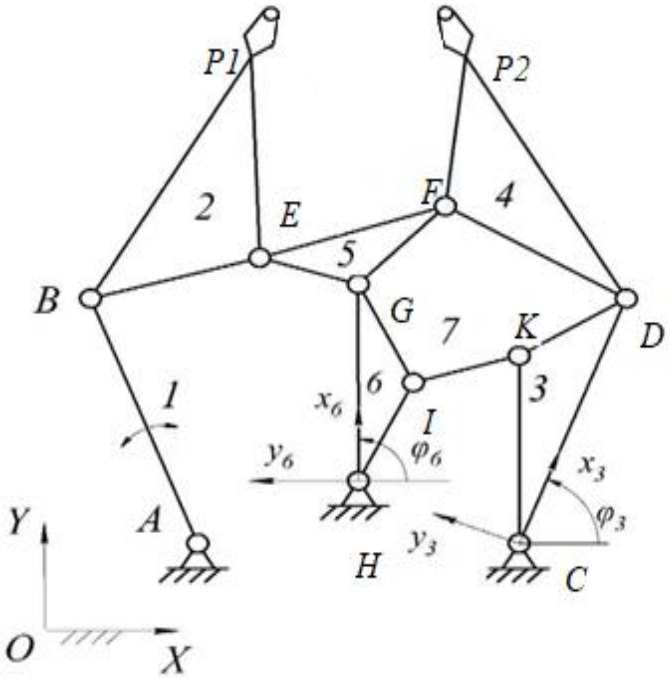


Рисунок 2.4 – Параллельный манипулятор пятого класса с двумя схватами

Размерные параметры рассматриваемого манипулятора имеют следующие значения [6]:

1) манипулятора $\mathrm{ABP_1}$: $x_B^{(1)} = 105.11$ мм, $y_B^{(1)} = 59.93$ мм, $X_A = 0.0$ мм, $Y_A = 0.0$ мм, $l_{BP_1} = 287.34$ мм;

2) манипулятора $\mathrm{CDP_2}$: $x_D^{(3)} = 183.56$ мм, $y_D^{(3)} = 61.21$ мм, $X_C = 348.0$ мм, $Y_C = -74.0$ мм, $l_{\mathrm{DP_2}} = 284.89$ мм;

3) бинарного звена $EF$ : $x_E^{(2)} = 156.8$ мм, $y_E^{(2)} = 54.6$ мм, $x_F^{(4)} = 73.34$ мм, $y_F^{(4)} = 125.88$ мм, $l_{\mathrm{EF}} = 152.0$ мм;

4) бинарного звена $GH$ : $x_G^{(5)} = 154.33$ мм, $y_G^{(5)} = 73.02$ мм, $X_H = 198.0$ мм, $Y_H = -78.0$ мм, $l_{\mathrm{DP_2}} = 238.21$ мм;

5) бинарного звена $IK$ : $x_I^{(6)} = 98.44$ мм, $y_I^{(6)} = 31.86$ мм, $x_K^{(3)} = 126.82$ мм, $y_K^{(3)} = 126.82$ мм, $l_{\mathrm{IK}} = 133.42$ мм.

Одноподвижный параллельный манипулятор пятого класса с двумя схватами воспроизводит дискретные значения координат $X_{P_{1i}}$, $Y_{P_{1i}}$ и $X_{P_{2i}}$, $Y_{P_{2i}}$ двух рабочих точек $P_1$ и $P_2$ при заданных значениях $\varphi_{1\mathrm{i}}$ угла поворота одного звена 1. При этом ведущее звено 1 совершает вращательно-возвратные движения в угловом интервале

$$\varphi_1 \in [95^{\circ}; 185^{\circ}],$$

а рабочие точки $P_1$ и $P_2$ перемещаются между начальными $P_{1\text{н}}$ и $P_{2\text{н}}$ и конечными $P_{1\text{к}}$ и $P_{2\text{к}}$ положениями с соответствующими координатами

$$P_{1н}(150; 358) \leftrightarrow P_{1к}(-5; 253),$$
$$P_{2н}(443; 394) \leftrightarrow P_{2к}(150; 358)$$

Однако, движение ведущего звена 1 этого манипулятора также нуждается в управлении по скорости. Это связано с тем, что схваты манипулятора в своих крайних положениях позиционирования должны иметь нулевые скорости. К тому же средние скорости схватов при обратном (холостом) ходе должны быть несколько больше, чем при прямом (рабочем) ходе. В этой связи, с целью возложения задачи управления на механику манипулятора, согласно тенденциям развития мехатроники, возникает необходимость синтеза ведущей кинематической цепи с кривошипным ведущим звеном по коэффициенту изменения средней скорости.

## 2.3 Синтез ведущей кинематической цепи с кривошипным звеном

Рассмотрим задачу синтеза шарнирного четырёхзвенного *NMLA*, для которого ведущим звеном является кривошип *NM* (рисунок 2.5). Положение шарнира *L* на звене *AB* выбрано произвольно и определяется расстояниями $l_{BL}$ = *27 мм* и $l_{AL}$ = *105 мм*. Крайними положениями коромысла будут *AL'* и *AL"*. В этих положениях кривошип *NM* и шатун *ML* располагаются по одной прямой. При переходе коромысла из положения *AL'* в положение *AL"* кривошип поворачивается на угол $\varphi_x$ , а при переходе из положения *AL"* в положение *AL'* – на угол $\varphi_p$ . При равномерном вращении кривошипа *NM* отношение углов $\varphi_p$ и $\varphi_x$ равно

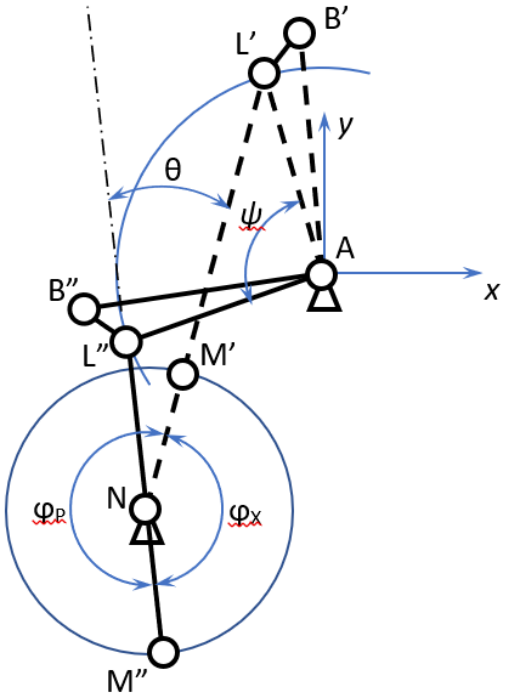


Рисунок 2.5 – Синтез ведущей цепи с ведущим кривошипом

$$\frac{\varphi_{\text{р}}}{\varphi_{\text{х}}} = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{х}}} \tag{2.1}$$

где, $\mathrm{t_p}$ и $\mathrm{t_x}$ являются промежутками времени, за которое кривошип *MN* проворачивается на углы $\varphi_{\mathrm{p}}$ и $\varphi_{\mathrm{x}}$. За эти промежутки времени точка *L* пройдет пути, которые равны дугам:

$$\cup L''L' = \cup L'L'' \tag{2.2}$$

Видно, что средние скорости *L* при прохождении пути прямого и обратного хода не равны между собой. Средняя скорость при смене положения из точки *L*' в положение *L*" будет равна:

$$\vartheta_{\text{х}} = \frac{\cup L'L''}{t_{\text{х}}} \tag{2.3}$$

Следовательно средняя скорость *L* при смене положения из *L*" в положение *L*' будет равна:

$$\vartheta_{\text{р}} = \frac{\cup L''L'}{t_{\text{р}}} \tag{2.4}$$

Разделив переменные одного вида друг на друга получим величину $K_V$:

$$\frac{\vartheta_{\text{х}}}{\vartheta_{\text{р}}} = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{х}}} = \frac{\varphi_{\text{р}}}{\varphi_{\text{х}}} = K_V \tag{2.5}$$

$K_V$ это величина коэфициента изменения средней скорости ведомого звена. По рисунку 2.5 видим, что коэфициент $K_V$ определяется как:

$$K_V = \frac{\varphi_{\text{р}}}{\varphi_{\text{х}}} = \frac{\pi+\theta}{\pi-\theta} \tag{2.6}$$

Из этой формулы можно найти значение θ, который образован направлениям $NL'$ и $NL''$ по формуле:

$$\theta = \pi\frac{K_V-1}{K_V+1} \tag{2.7}$$

С помощью синтеза механизма по заданному коэффициенту изменения средней скорости выходного звена получаем такой результат, чтобы движение выходного звена происходило с различными скоростями во время прямого и обратного (холостого) ходов. Как известно средняя скорость прямого хода должна быть меньше значения, чем средняя скорость обратного хода.

*Исходные данные для синтеза ведущей цепи:*

- длина коромысла $AL$: $l_{AL}$ = *105* мм.

- крайние положения коромысла $AL$: определяются углами $\varphi_{AL'} = 106^o$ и $\varphi_{AL''} = 196^o$.

- коэффициент изменения средней скорости: $K_V$ = 1,3

На рисунке 2.6 изображена графическая часть синтеза кривошипного механизма параллельного манипулятора. Синтез механизма шарнирного кривошипного параллельного манипулятора по заданному коэффициенту $K_V$ выполняем следующим образом. Согласно формуле (2.7) по заданному $K_V$ вычисляем угол θ:

$$\theta = \pi \frac{K_V - 1}{K_V + 1} = \frac{1{,}3-1}{1{,}3+1} * 180° = 22{,}1° \qquad (2.7)$$

Далее строим заданные крайние положения $AL'$ и $AL''$ коромысла $AL$ изображенный на рисунке 2.6. Согласно исходным данным, они образуют между собой угол:

$$\psi_{\max} = \varphi_{AL''} - \varphi_{AL'} = 106 - 96 = 90^o$$

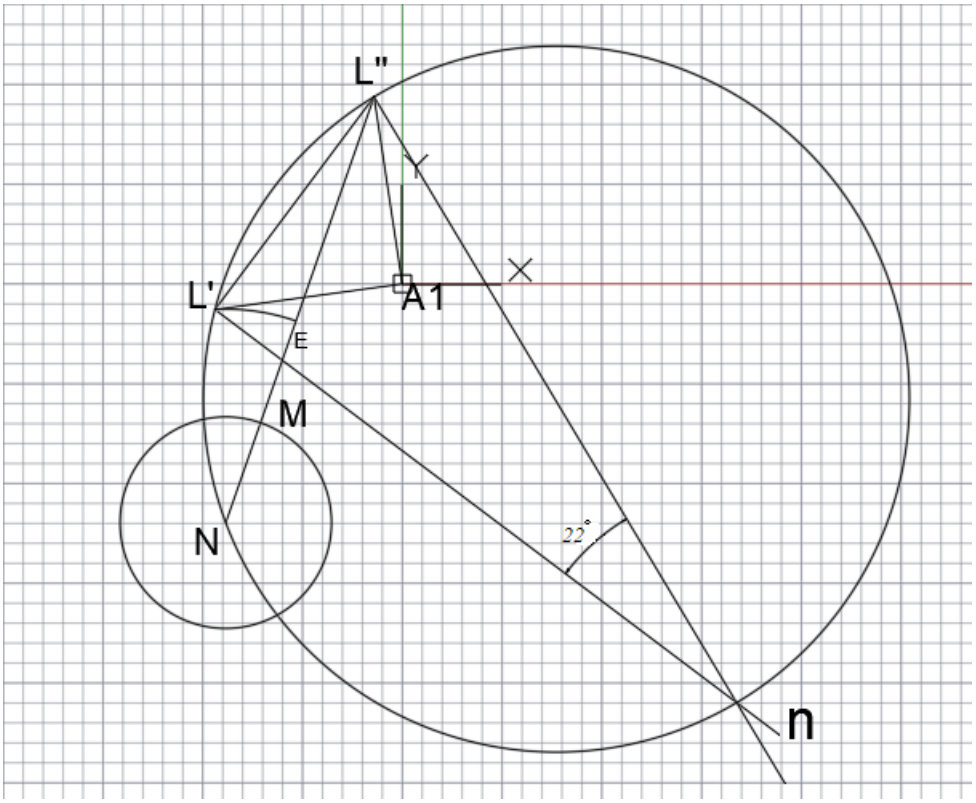


Рисунок 2.6 – Построение схемы кривошипно-коромысловой ведущей цепи параллельного манипулятора по заданному коэффициенту изменения средней скорости

Точки $L'$ и $L''$ соединяем прямой и на отрезке $L'L''$, как на хорде, строим дугу, вмещающую угол $\theta$. Для этого в точке $L''$восставляем перпендикуляр $L''$n к отрезку $L''L'$и при точке $L'$ строим угол $90° - \theta$. Через точки $L'$, $L''$ и $N$ проводим окружность. Центр вращения кривошипа *MN* может быть выбран в любой точке на этой окружности. Известно, что, соединив двумя прямыми любую точку этой дуги с точками $L'$ и $L''$, мы бы получили угол между этими двумя прямыми, который будет равен $\theta$. Определим длину $r$ кривошипа *NM*. Центром вращения кривошипа была выбрана точка *N* с координатами (-89; -118). В окне AutoCAD определяем, что расстояния $N_1L" = 90$ мм и $N_1L' = 226$ мм. С другой стороны, из рисунка 2.6 заметим, что при длине кривошипа $r$ отрезки $N_1L"$ и $N_1L'$ будут равны

$$N_1L" = l - r \text{ и } N_1L' = l + r \tag{2.8}$$

где, $l$ и $r$ суть длины кривошипа *MN* и шатуна *ML*. Отсюда следует:

$$N_1L' - N_1L" = 2r$$

или

$$r = N_1M = \frac{N_1L' - N_1L"}{2} = \frac{226-90}{2} = 68 \text{ мм} \tag{2.9}$$

Тогда, согласно формуле (2.8), длина шатуна *NL*

$$l = N_1L'' + r = 90 + 68 = 158 \text{ мм}$$

Из точки $N_1$, проводим дугу радиусом $N_1L"$ до пересечения с линией $N_1L'$ в точке E. Тогда отрезок $EL'$ получается равным 2r, откуда:

$$r = \frac{EL'}{2} \tag{2.10}$$

Откладываем от точки $N_1$, на прямой $N_1L'$ отрезок $N_1M'$, равный $\frac{EL'}{2}$, а на продолжении прямой $N_1L"$ отрезок $N_1M"$, также равный $\frac{EL'}{2}$. Тогда получаем четырехзвенный шарнирный механизм, обладающий заданным коэффициентом *K*. Так как в качестве центра вращения звена *MN* могут быть выбраны различные точки окружности, то можно налагать на размеры звеньев механизма дополнительные условия, например, можно задаться длиной одного из звеньев механизма и т. д.

Таким образом, в результате выполненного синтеза ведущей цепи параллельного манипулятора V класса с двумя схватами получили следующие параметры для кривошипа *MN* и шатуна *ML* (рисунок 2.7):

- длина кривошипа: $l_{MN}$ = *68 мм;*
- длина шатуна: $l_{LM}$ = *158 мм;*
- координаты опорного шарнира: $X_N = -89$ *мм;* $Y_N = -118$ *мм;*

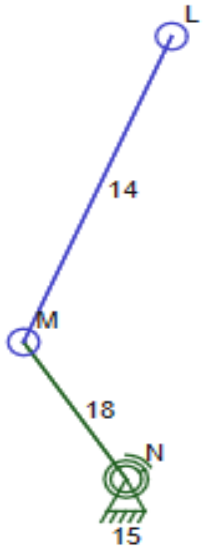


Рисунок 2.7 – Кривошип *MN* и шатун *ML*

## 3 Кинематическая модель параллельного манипулятора V класса

### 3.1 Модель параллельного манипулятора V класса в среде Linkage MDS

Создана кинематическая модель разработанной схемы параллельного манипулятора V класса с двумя схватами в программной среде Linkage MDS (Mechanism Designer and Simulator). На рабочем окне Linkage по известным координатам были размещены опорные шарниры – стойки. Все базисные звенья были построены по меж шарнирным расстояниям и размещены согласно структуре исполнительного механизма манипулятора.

На рисунке 3.1 показано как звенья параллельного манипулятора V класса с двумя схватами соединены между собой. Механизм параллельного робота манипулятора с двумя схватами, содержит стойку, приводной двигатель, один кривошип и три коромысла, шарнирно связанные между собой пять шатунных звеньев, два из которых снабжены схватами. Перемещения схватов осуществляется одним двигателем, установленным в опорном шарнире *N* кривошипа. Кривошип вращается равномерно с постоянной угловой скоростью и приводит в движение коромысло *ML*, которое в свою очередь приводит в движение кинематическую цепь с изменяемым пятисторонним контуром, т.е. группу Ассура V класса. В результате рабочие схваты $P_1$ и $P_2$ , установленные на

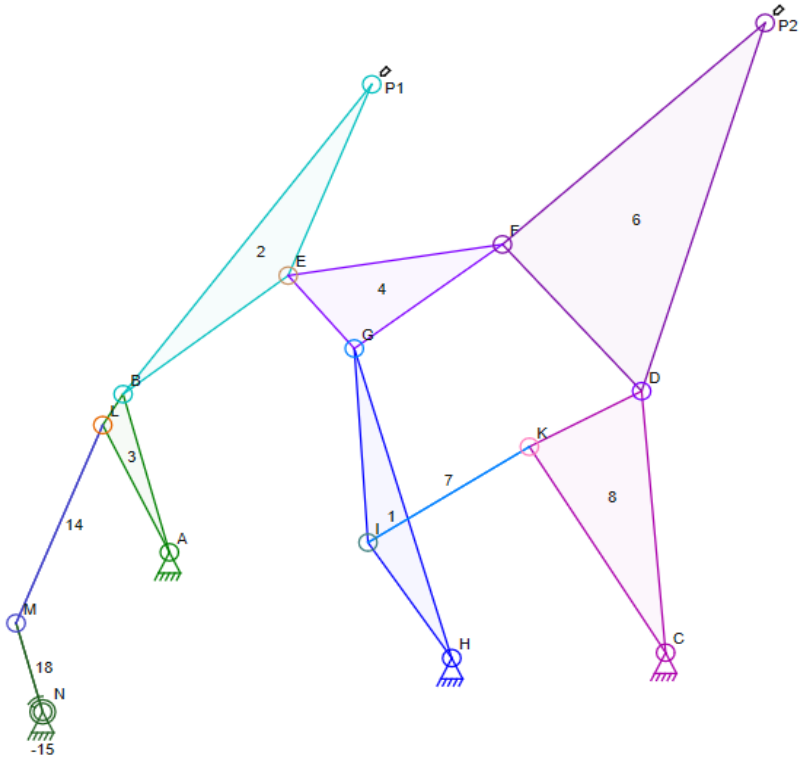


Рисунок 3.1 – Кинематическая модель параллельного манипулятора пятого класса с кривошипоп и шатуном

шатунных звеньях 2 и 6, совершают перемещения между своими крайними позициями. Анимация созданной модели показывает работоспособность параллельного манипулятора и достоверность полученных результатов синтеза.

На рисунке 3.2 изображена схема параллельного манипулятора V класса с двумя схватами с указанными размерами звеньев и расстояниями между опорными и между всеми подвижными шарнирами.

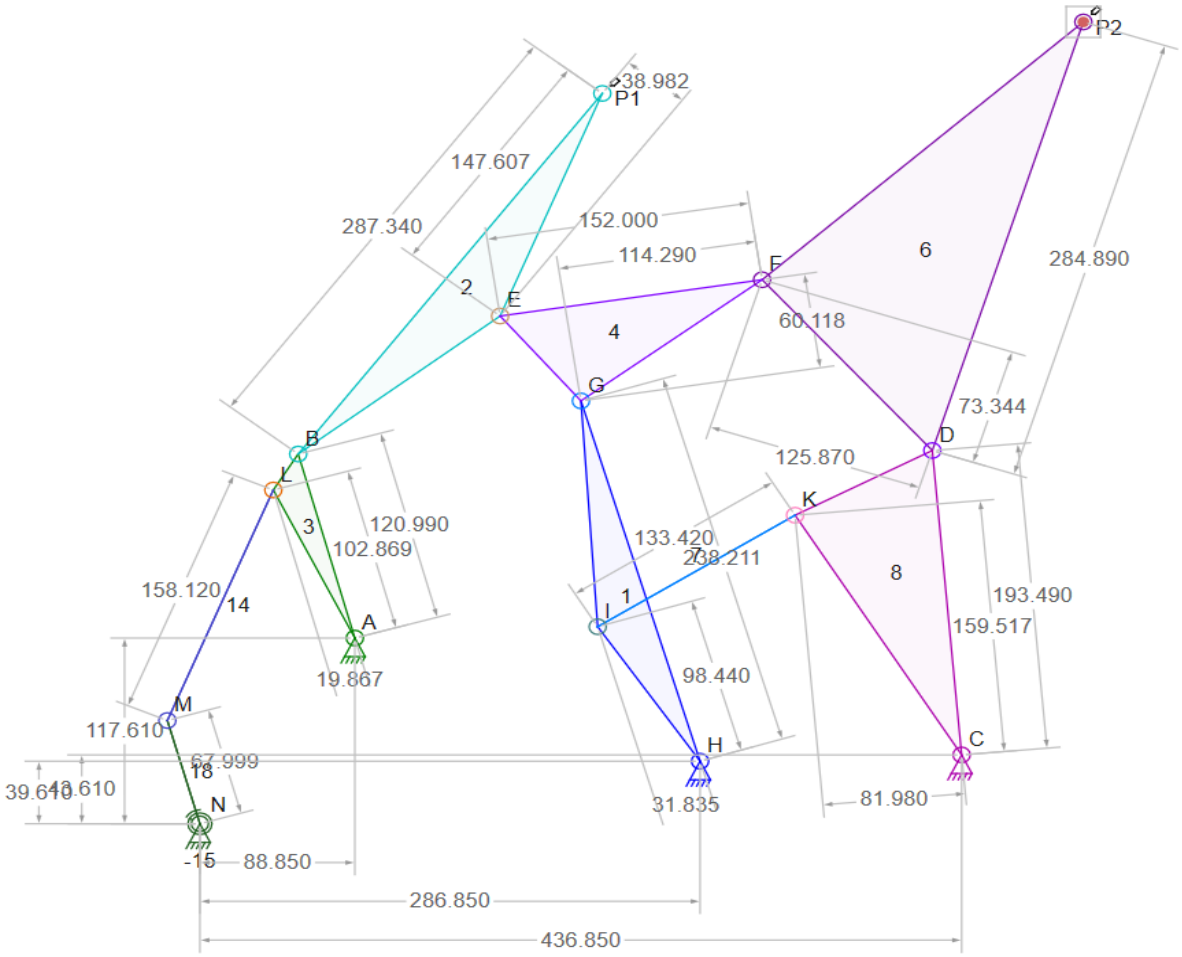


Рисунок 3.2 – Размеры параллельного манипулятора V класса с двумя схватами

### 3.2 3D модель параллельного манипулятора V класса в программном комплексе Autodesk Fusion 360

Fusion 360 — это программа для 3D-проектирования. Компания Autodesk выбрала название, которое с английского языка переводится как «слияние», т. к. в этот инструмент включены различные типы программного обеспечения. Можно выполнять задачи автоматизированного проектирования (computer-aided design, CAD), автоматизированного производства (computer-aided manufacturing, CAM) и автоматизированного инженерного анализа (computer-aided engineering,

CAE). Возможности проектирования (CAD) позволяют моделировать практически все, что угодно.

Fusion 360 позволяет анимировать (создавать видео), рендерить (добавлять реалистичные цвета и текстуры) и отображать модель в виде набора масштабированных 2D-чертежей. Это позволит упорядочить процесс сборки модели, состоящей из нескольких частей. Кроме того, детали разработанные в Fusion 360 могут быть экспортированы для печати на 3D принтерах.

Используя функциональные возможности Fusion 360 разработана компьютерная 3D модель исследуемого параллельного манипулятора V класса с двумя схватами. Предварительно созданы модели каждого звена, как отдельные части, с указанием длины, ширины и толщины. Базисные звенья также разработаны как треугольные пространственные звенья, на вершинах которых имеются элементы вращательных кинематических пар. В блоке сборки согласно структуре исполнительного механизма манипулятора осуществлены соединения разработанных частей - моделей звеньев. При этом чтобы исключить взаимные столкновения звеньев при работе манипулятора, все звенья разнесены по соответствующим плоскостям движения.

Вначале чертим эскизный вид кривошипа *NM* с указанием окружностей отверстий для вращательных кинематических пар. На рисунке 3.3 изображен эскиз кривошипа *NM*. Далее совершаем действие «выдавливание», после которого произойдёт утолщение эскиза до 15 мм. На рисунке 3.4 изображен окончательный вид кривошипа *NM*.

Сохраняем созданную модель звена под названием «Кривошип *NM*». На рисунке 3.5 изображено окно для сохранения модели кривошипа с названием «Кривошип NM».

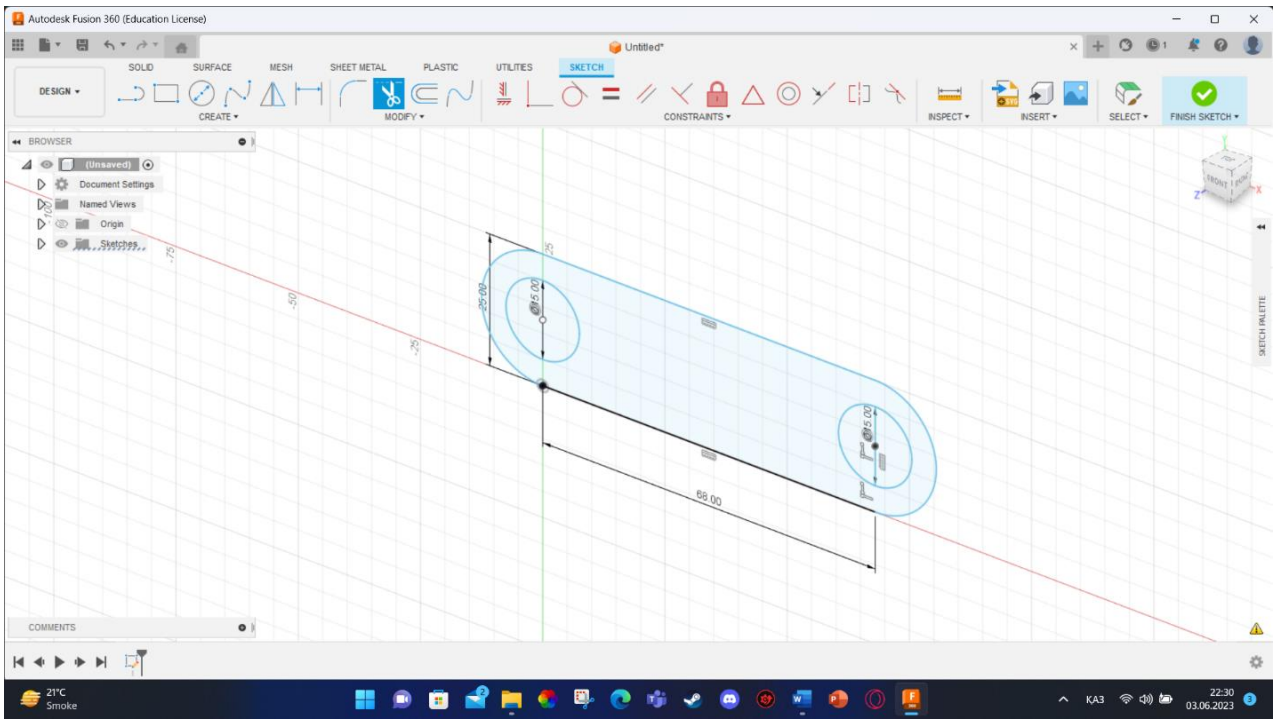


Рисунок 3.3 – Эскиз кривошипа NM

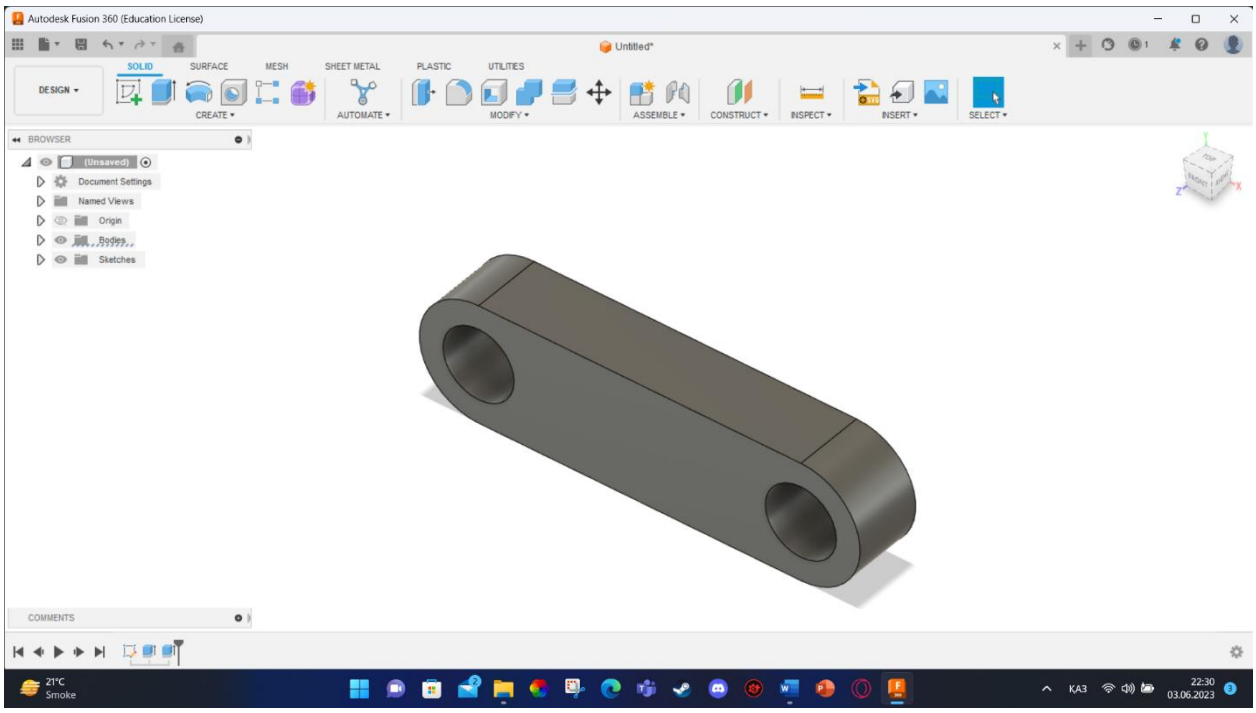


Рисунок 3.4 – Окончательный вид кривошипа NM

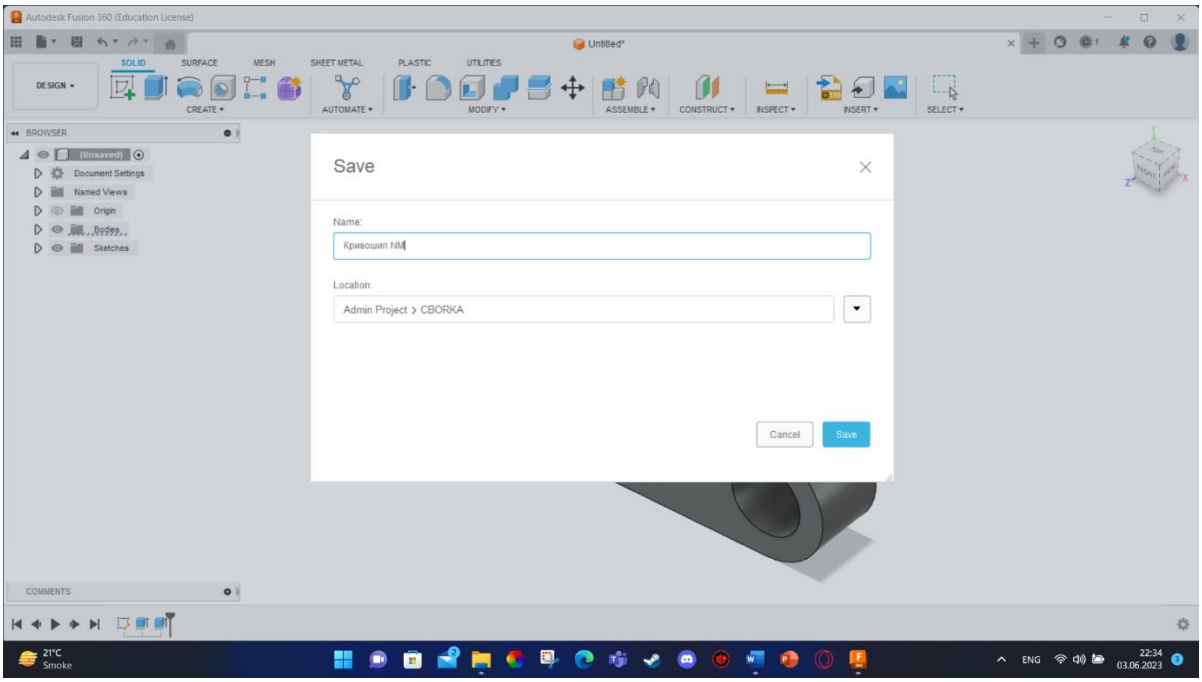


Рисунок 3.5 – Сохранение детали Кривошип NM

Аналогично создавая модели остальных бинарных и базисных звеньев и других деталей, переходим к блоку сборки деталей. На рисунке 3.5 изображена начальная стадия сборки кривошипа *MN* и шатуна *ML*.

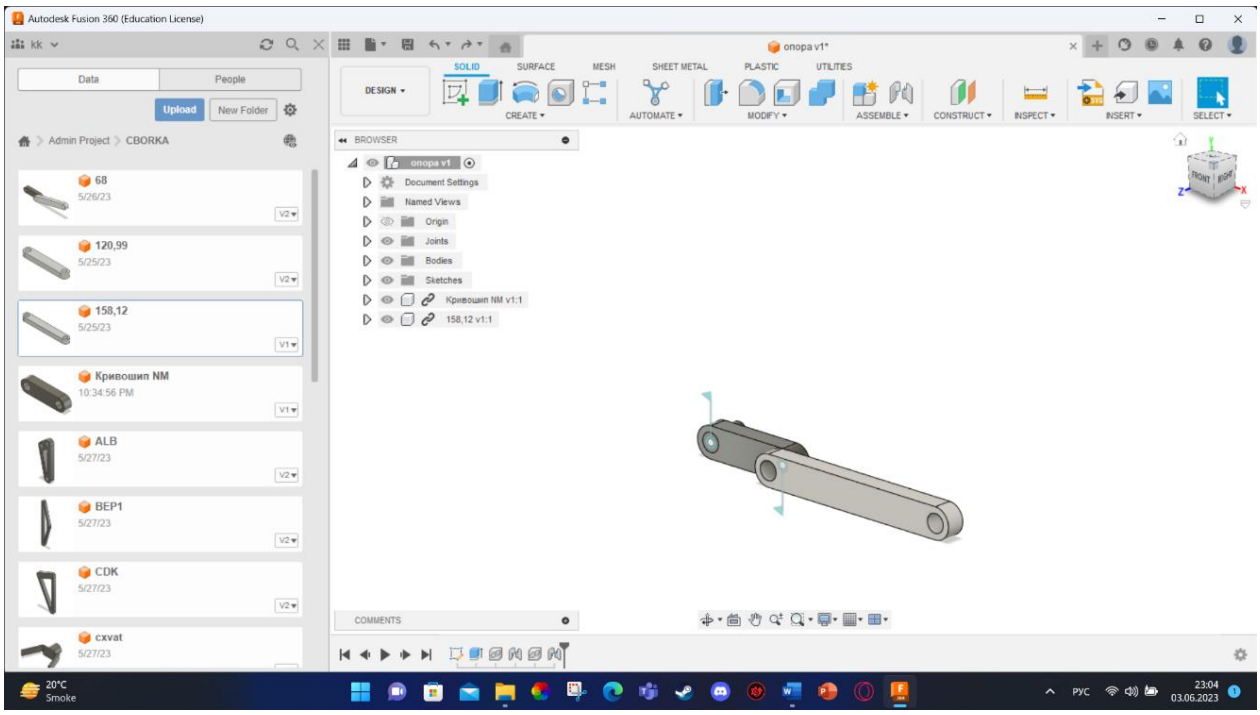


Рисунок 3.5 – Сборка кривошипа MN и шатуна ML

На рисунках 3.6–3.8 изображены дальнейшие процессы поэтапной сборки звеньев кинематическими парами согласно структуре параллельного манипулятора.

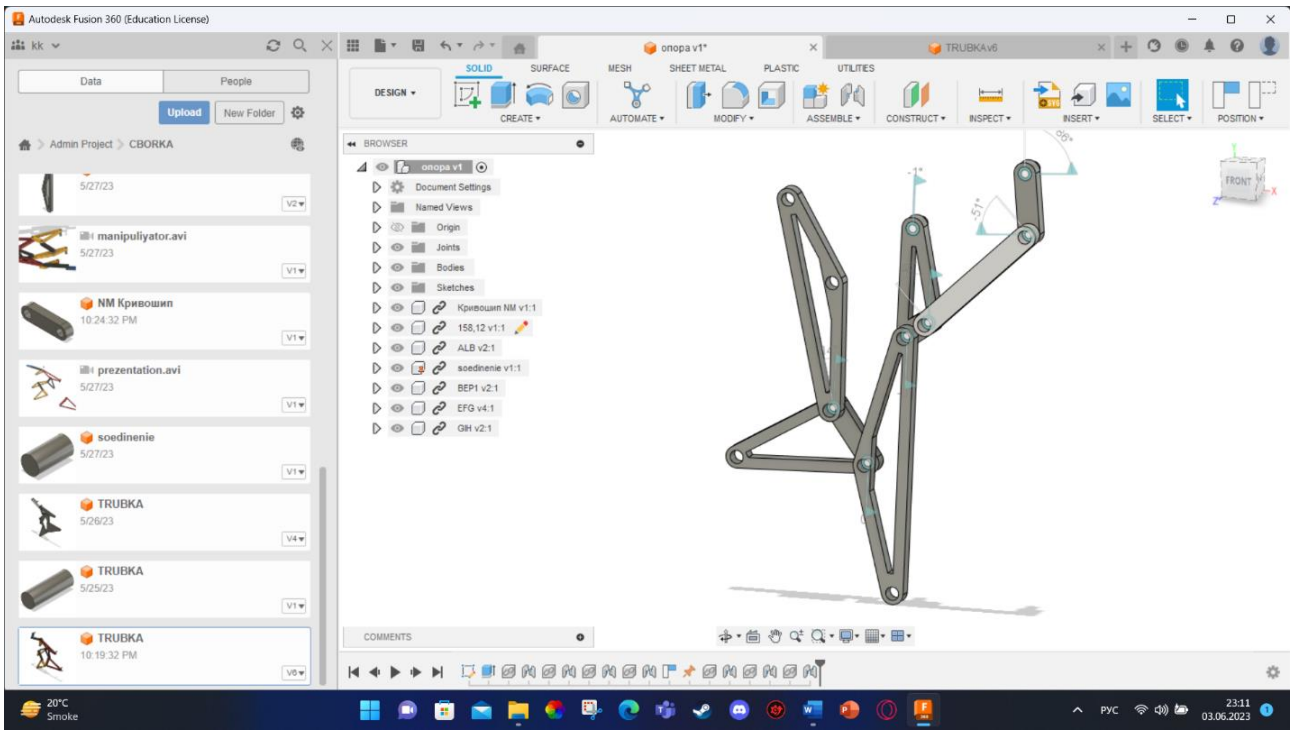


Рисунок 3.6 – Процесс сборки базисного звена *GIH*

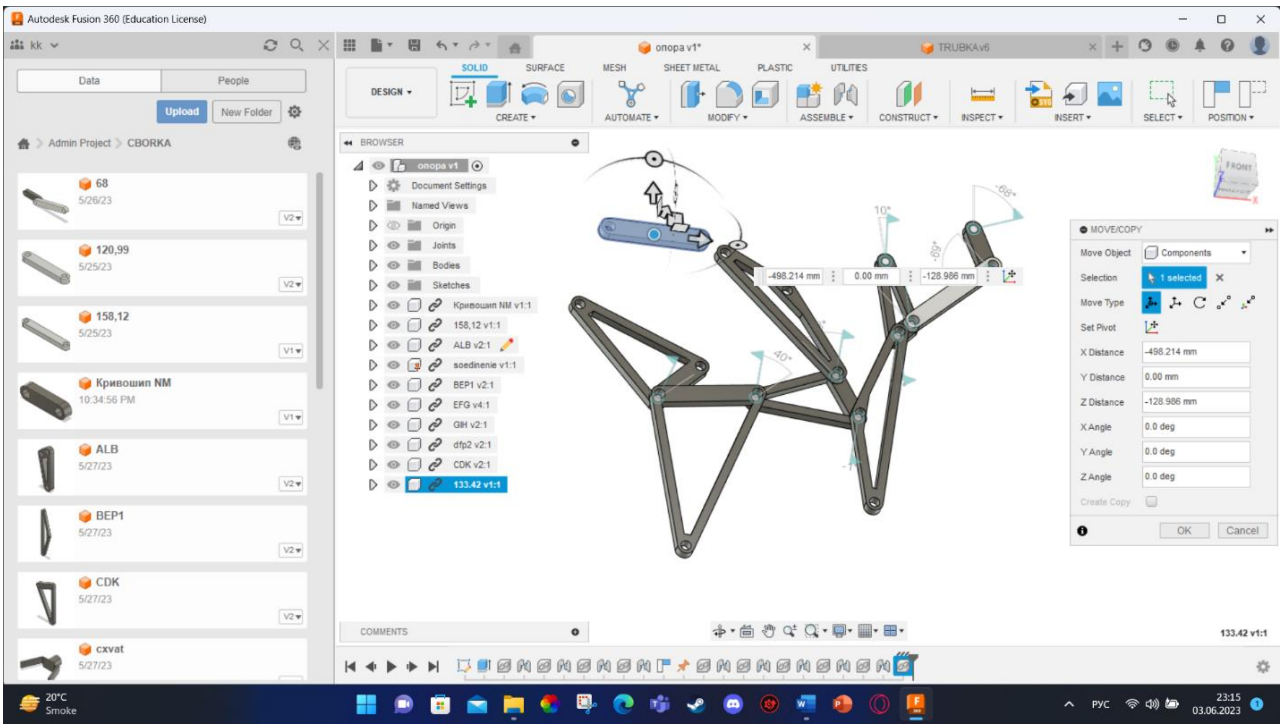


Рисунок 3.7 – Процесс сборки базисного звена *CDK*

Далее для улучшения визуального восприятия отдельных звеньев, схватов и т.д. с помощью команды «Appearance» перекрашиваем каждое звено в определённый цвет. На рисунке 3.8 изображена собранная компьютерная кинематическая модель параллельного манипулятора V класса с двумя схватами.

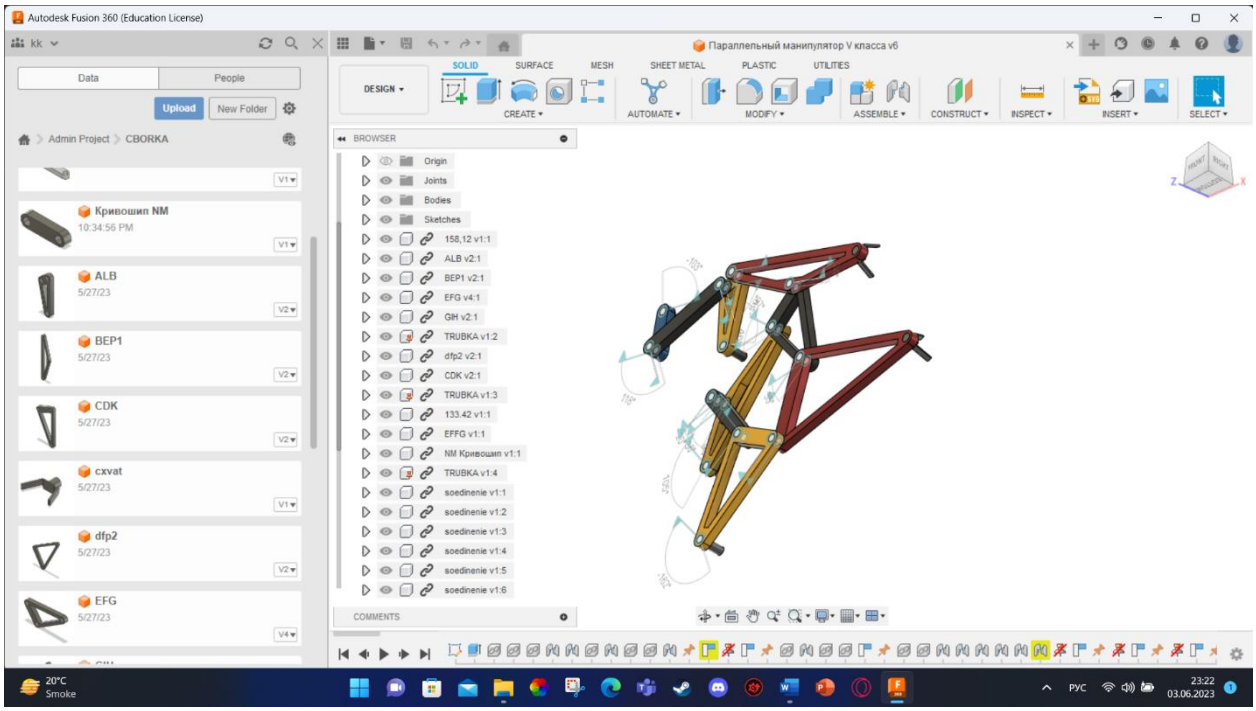


Рисунок 3.8 – 3D модель параллельного манипулятора V класса с двумя схватами

На рисунках 3.9–3.11 изображены различные виды параллельного манипулятора V класса.

Рисунок 3.9 – Вид сверху параллельного манипулятора V класса

Рисунок 3.10 – Вид спереди параллельного манипулятора

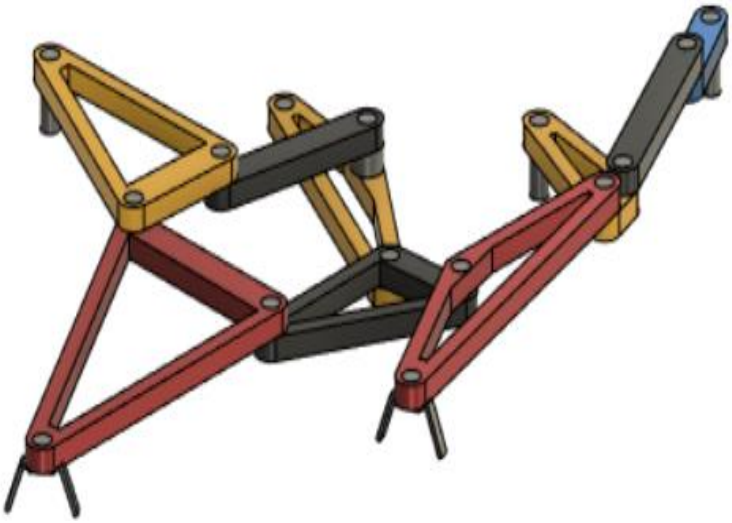

Рисунок 3.11– Изометрический вид параллельного манипулятора V класса с двумя схватами

## 3.3 Кинематика параллельного манипулятора с двумя схватами

Созданная функционалом Fusion 360 видеозапись анимации разработанной 3D модели манипулятора с двумя схватами, а также интерактивный анализ этих моделей показывают работоспособность параллельного манипулятора и достоверность полученных результатов синтеза. Кинематические характеристики параллельного исследуемого манипулятора приведены на рисунках 3.12–3.21.

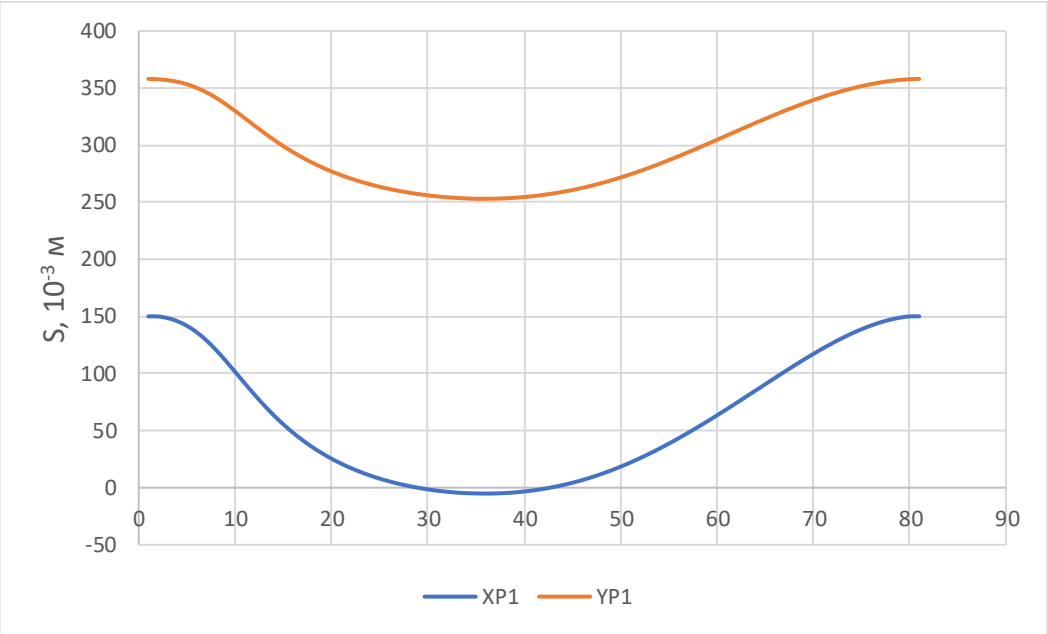


Рисунок 3.12 – Диаграмма изменения координат схвата $P_1$

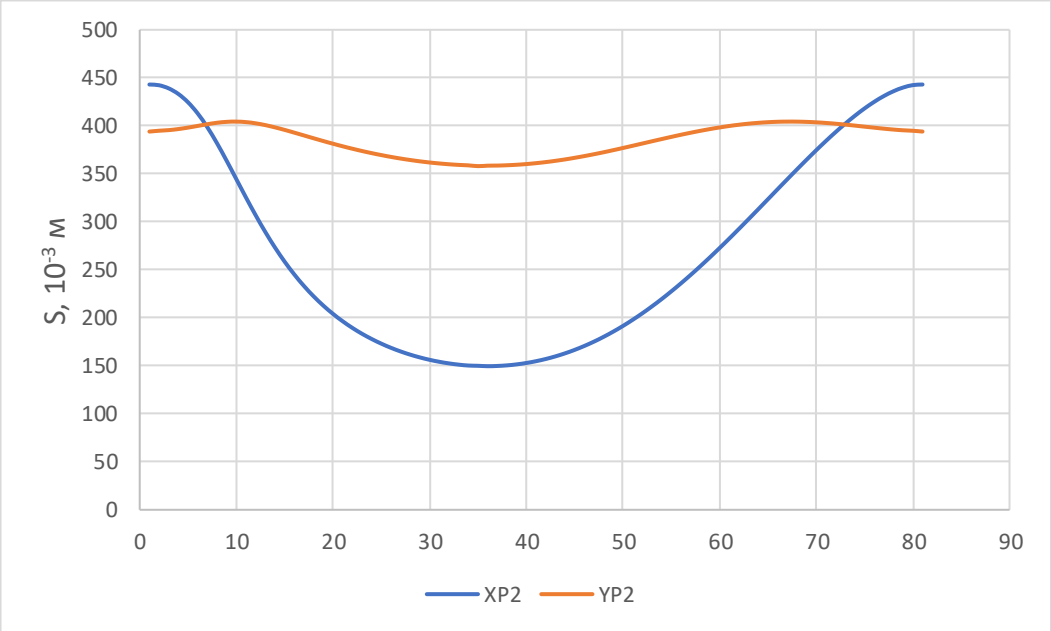


Рисунок 3.13 – Диаграмма изменения координат схвата $P_2$

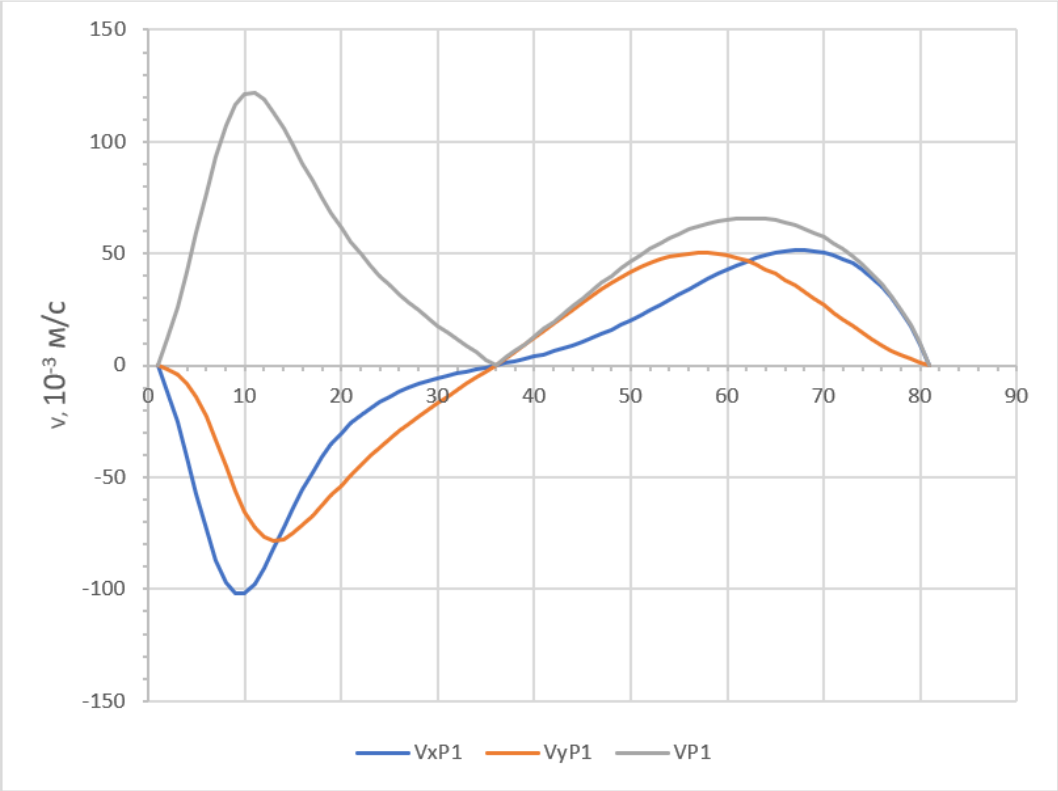


Рисунок 3.14 – Диаграмма изменения скорости схвата $P_1$

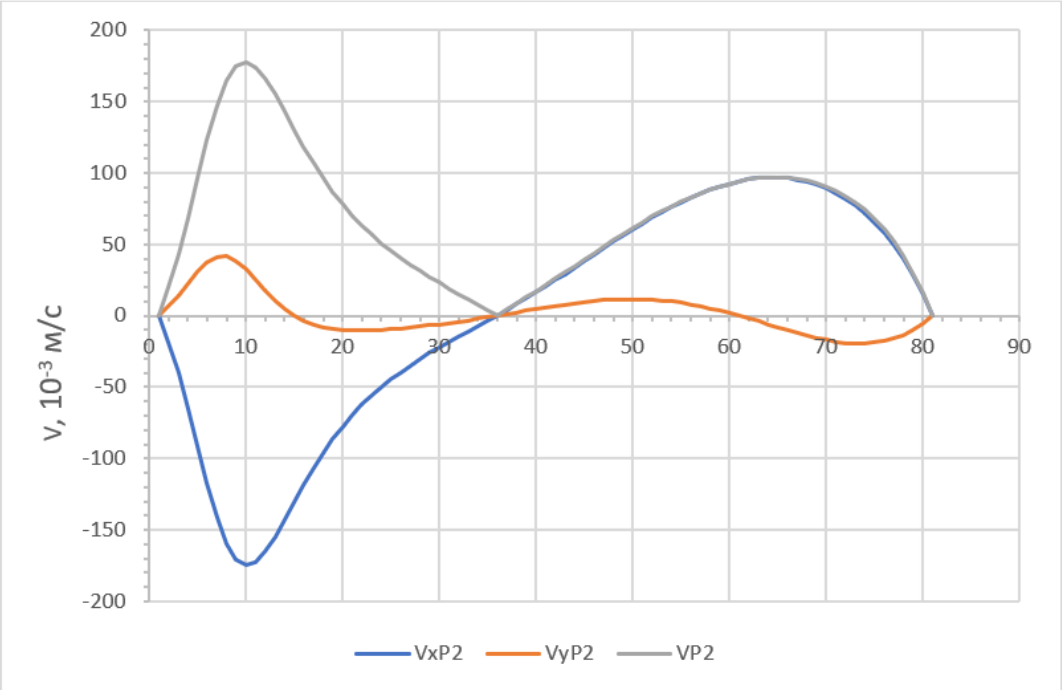


Рисунок 3.15 – Диаграмма изменения скорости схвата $P_2$

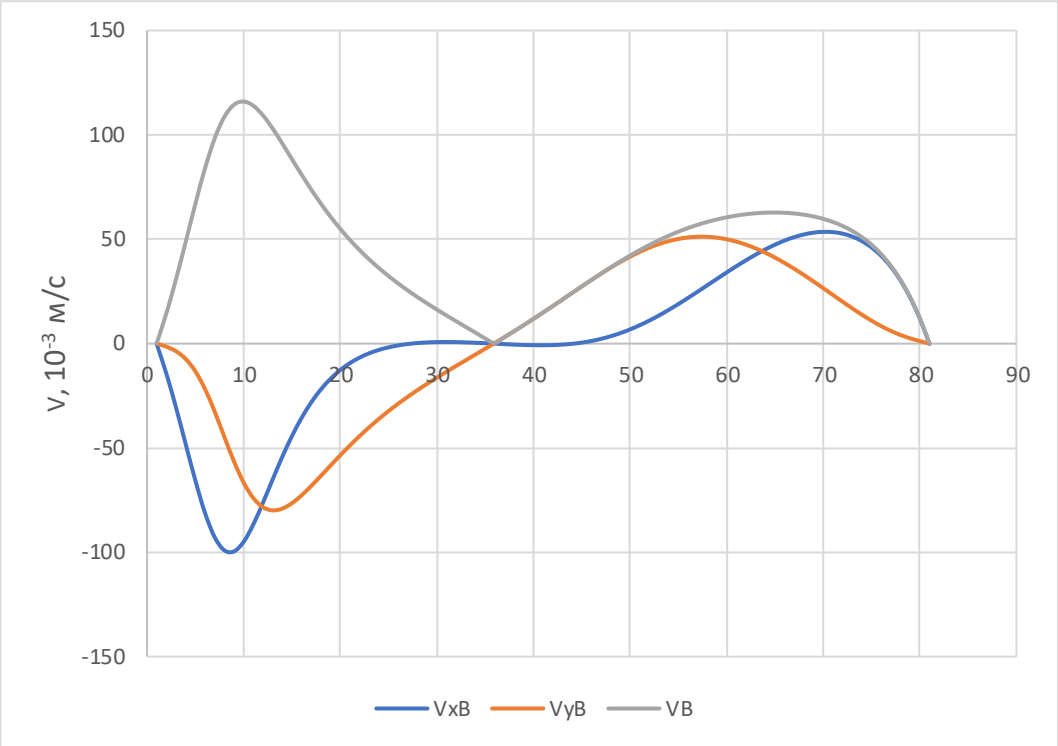


Рисунок 3.16 – Скорость кинематической пары *B*

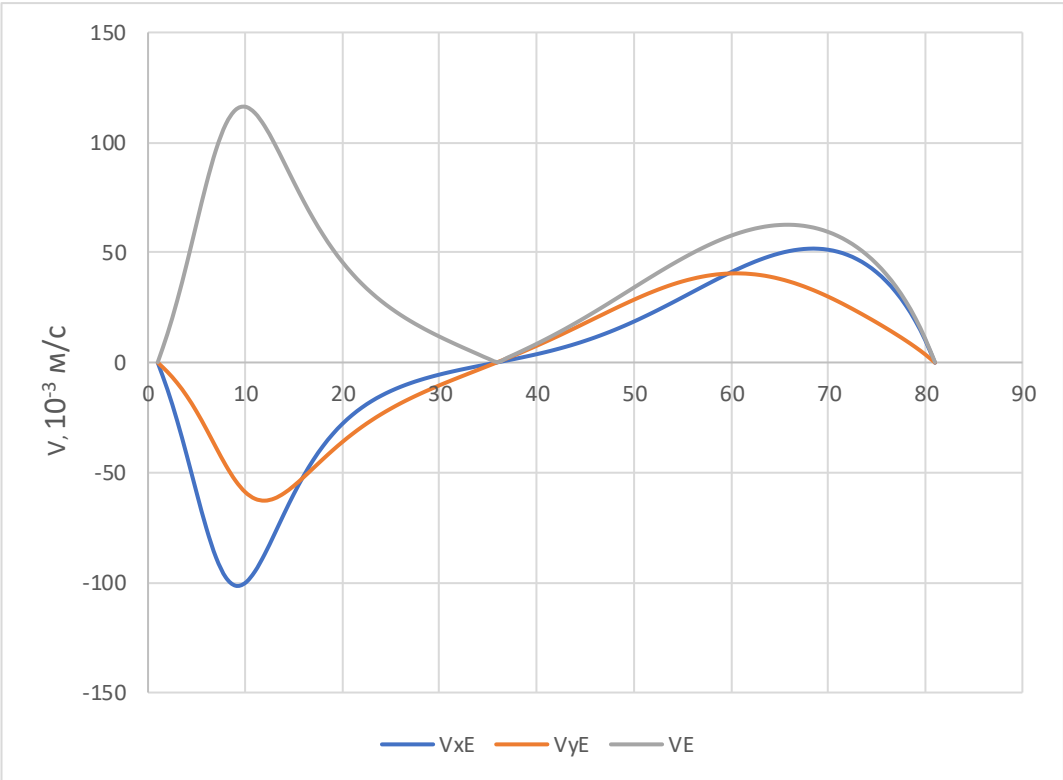


Рисунок 3.17 – Скорость кинематической пары *E*

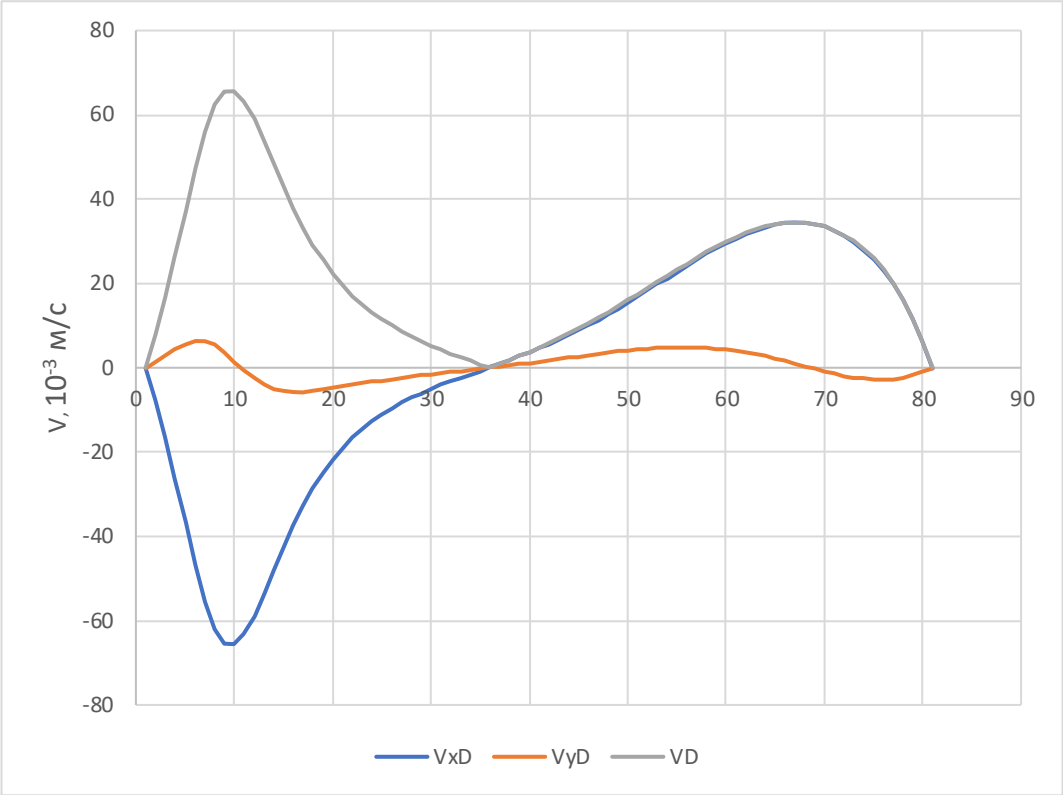


Рисунок 3.18 – Скорость кинематической пары *D*

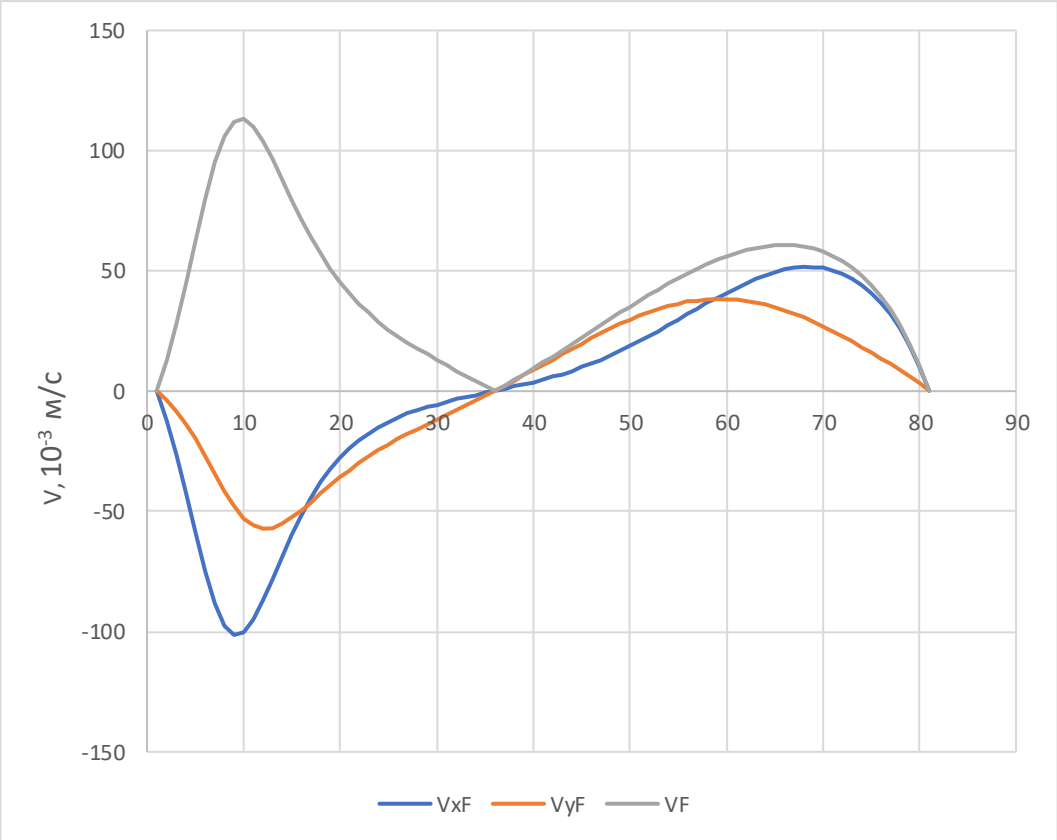


Рисунок 3.19 – Скорость кинематической пары *F*

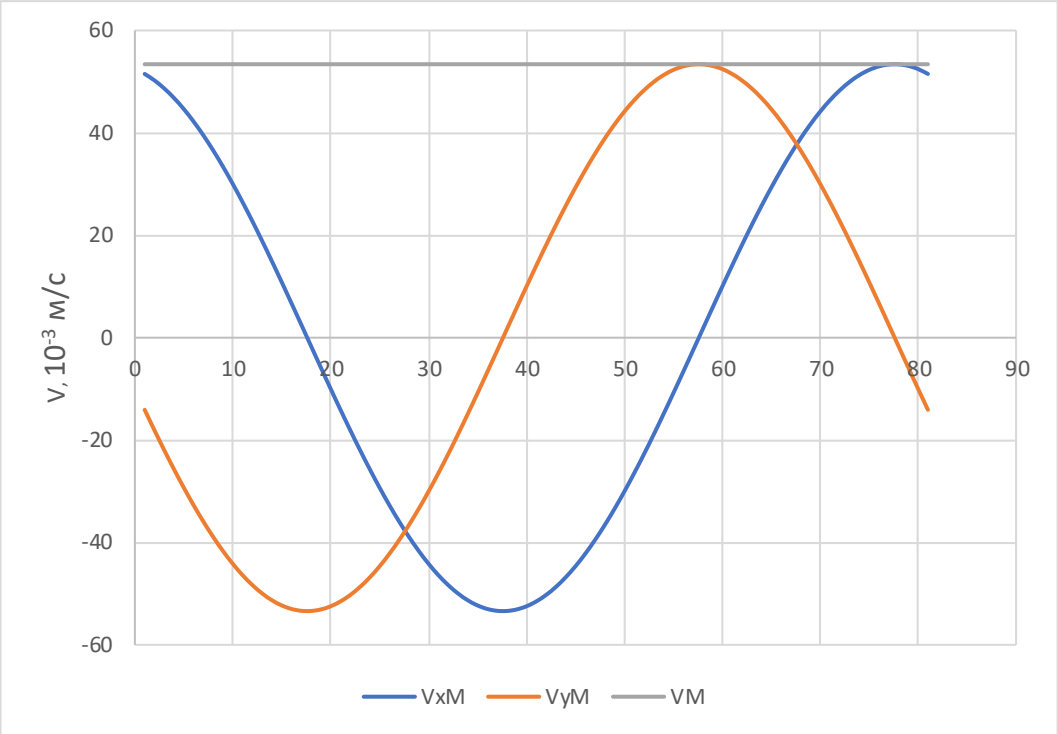


Рисунок 3.20 – Скорость кинематической пары *M*

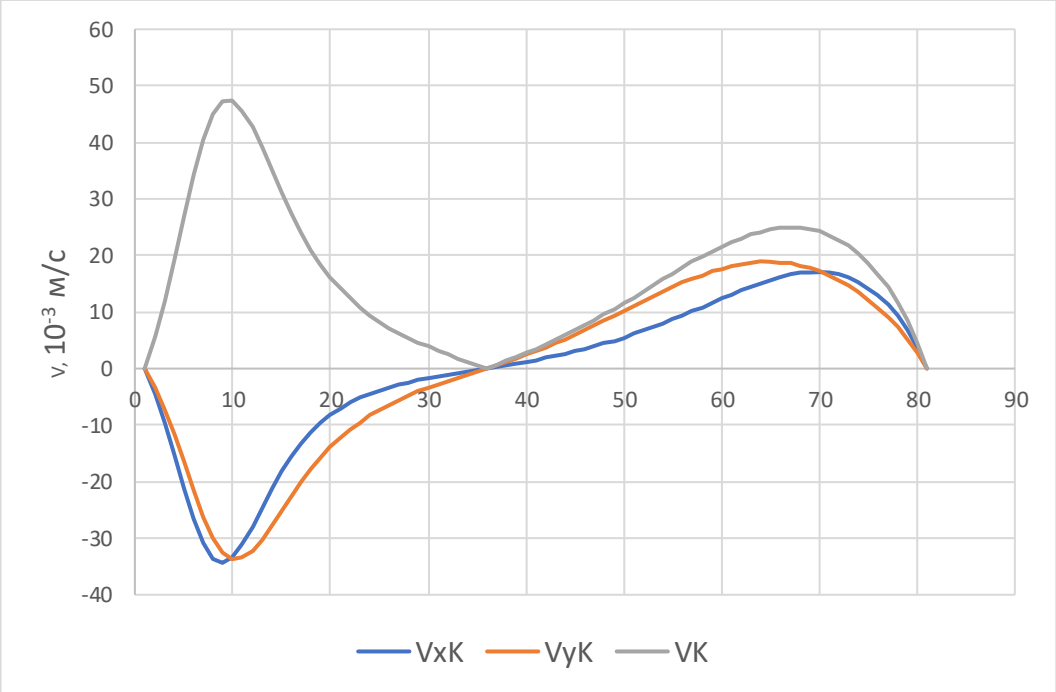


Рисунок 3.21 – Скорость кинематической пары K

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассматривались задачи синтеза ведущей цепи с кривошипным входным звеном и разработки кинематической модели параллельного манипулятора V класса с двумя схватами. Данный манипулятор предназначен для одновременного выполнения различных операций, например, в штамповочных производствах, или в погрузочно-разгрузочных работах.

Синтез ведущей кривошипно-коромысловой цепи для параллельного манипулятора выполнен по коэффициенту изменения средней скорости ведомых звеньев, в том числе рабочих органов – схватов. Начальными данными для задачи синтеза явились крайние положения и длина ведущего коромысла исходного механизма параллельного манипулятора, а также заданное значение коэффициента изменения средней скорости.

В результате синтеза определены длины ведущего кривошипа и шатуна, а также координаты опорной вращательной кинематической пары. Разработаны компьютерная кинематическая модель исполнительного механизма манипулятора в программной среде Linkage MDS, а также 3D модель в Autodesk Fusion 360 с CAD технологией. Построены диаграммы изменения координат и скоростей кинематических пар манипулятора.

3D визуализация и анимация работы созданных моделей, а также анализ кинематических характеристик показывают работоспособность исследуемого параллельного манипулятора и достоверность полученных результатов синтеза.

Следует отметить, что созданные в Autodesk Fusion 360 детали параллельного манипулятора могут быть экспортированы для печати на 3D принтерах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ


1. Marco Ceccarelli. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/London, 2004.-310p.
2. Angeles J. The qualitative synthesis of parallel manipulators//ASME J. Mech. Des., 126, 2004.-P.617-624.
3. Lee C. C., Herve J. Cartesian parallel manipulators with pseudoplanar limbs//ASME J. Mech. Des., 129, 2007.-P.1256-1264.
4. Notash L., Kamalzadch A. Inverse dynamics of wire-actuated parallel manipulators with a constraining linkage//Mechanism and Machine Theory, 42(9), 2007.-P.1103-1118.
5. Jorge Angeles. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems. – Springer, 2014, - 589 p.
6. Байгунчеков Ж.Ж. и др. Синтез и анализ плоских исполнительных механизмов манипуляционных роботов параллельной структуры с двумя рабочими органами: Монография/ – Алматы: КазНИТУ, 2018. – 215 с.
7. Байгунчеков Ж.Ж. и др. Исполнительный механизм робота с двумя схватами/ Инновационный патент РК, № 29601// 16.03.2015, бюл. №3
8. Корендясев А.И. Манипуляционные системы роботов. – М.: «Машиносторение», 1989.-472 с.
9. Юревич Е.И. Основы робототехники.-СПб. БХВ–Петербург, 2005.-416 с.
10. Артоболевский И.И. Теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
11. Белянин П. Н. Промышленные роботы и их применение. –М.: Машиностроение, 2012. – С.73–75
12. Механика промышленных роботов. Под редакцией К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Том 1. Кинематика и динамика. – М.: «Высшая школа», 1988. -304 с.
13. Корендясев А.И. Манипуляционные системы роботов. М.: «Машиносторение», 1989.-472 с.

## Приложение А

## Координаты кинематических пар параллельного манипулятора

Таблица А.1 – Угловые положения кривошипа *MN* и шатуна *ML*

| | $\varphi_1$ | $\varphi_3$ |
|---|---|---|
| 1 | 74,70 | 95,41 |
| 2 | 70,20 | 95,75 |
| 3 | 65,70 | 96,82 |
| 4 | 61,20 | 98,70 |
| 5 | 56,70 | 101,45 |
| 6 | 52,20 | 105,03 |
| 7 | 47,70 | 109,36 |
| 8 | 43,20 | 114,28 |
| 9 | 38,70 | 119,58 |
| 10 | 34,20 | 125,05 |
| 11 | 29,70 | 130,51 |
| 12 | 25,20 | 135,80 |
| 13 | 20,70 | 140,83 |
| 14 | 16,20 | 145,55 |
| 15 | 11,70 | 149,91 |
| 16 | 7,20 | 153,92 |
| 17 | 2,70 | 157,58 |
| 18 | -1,80 | 160,91 |
| 19 | -6,30 | 163,93 |
| 20 | -10,80 | 166,67 |
| 21 | -15,30 | 169,15 |
| 22 | -19,80 | 171,38 |
| 23 | -24,30 | 173,40 |
| 24 | -28,80 | 175,21 |
| 25 | -33,30 | 176,83 |
| 26 | -37,80 | 178,28 |
| 27 | -42,30 | 179,56 |
| 28 | -46,80 | 180,69 |
| 29 | -51,30 | 181,67 |
| 30 | -55,80 | 182,52 |
| 31 | -60,30 | 183,22 |
| 32 | -64,80 | 183,79 |
| 33 | -69,30 | 184,24 |
| 34 | -73,80 | 184,55 |
| 35 | -78,30 | 184,73 |
| 36 | -82,80 | 184,78 |
| 37 | -87,30 | 184,70 |
| 38 | -91,80 | 184,49 |
| 39 | -96,30 | 184,14 |
| 40 | -100,80 | 183,64 |

| | $\varphi_1$ | $\varphi_3$ |
|---|---|---|
| 41 | -105,30 | 183,01 |
| 42 | -109,80 | 182,23 |
| 43 | -114,30 | 181,31 |
| 44 | -118,80 | 180,23 |
| 45 | -123,30 | 179,01 |
| 46 | -127,80 | 177,64 |
| 47 | -132,30 | 176,12 |
| 48 | -136,80 | 174,46 |
| 49 | -141,30 | 172,66 |
| 50 | -145,80 | 170,73 |
| 51 | -150,30 | 168,67 |
| 52 | -154,80 | 166,49 |
| 53 | -159,30 | 164,19 |
| 54 | -163,80 | 161,80 |
| 55 | -168,30 | 159,30 |
| 56 | -172,80 | 156,72 |
| 57 | -177,30 | 154,06 |
| 58 | -181,80 | 151,33 |
| 59 | -186,30 | 148,54 |
| 60 | -190,80 | 145,70 |
| 61 | -195,30 | 142,82 |
| 62 | -199,80 | 139,90 |
| 63 | -204,30 | 136,95 |
| 64 | -208,80 | 133,99 |
| 65 | -213,30 | 131,01 |
| 66 | -217,80 | 128,04 |
| 67 | -222,30 | 125,08 |
| 68 | -226,80 | 122,14 |
| 69 | -231,30 | 119,24 |
| 70 | -235,80 | 116,38 |
| 71 | -240,30 | 113,58 |
| 72 | -244,80 | 110,87 |
| 73 | -249,30 | 108,25 |
| 74 | -253,80 | 105,76 |
| 75 | -258,30 | 103,43 |
| 76 | -262,80 | 101,29 |
| 77 | -267,30 | 99,39 |
| 78 | -271,80 | 97,77 |
| 79 | -276,30 | 96,52 |
| 80 | -280,80 | 95,70 |
| 81 | -285,30 | 95,41 |

Таблица А.2 – Координаты звеньев B, E, F, G, M

| | $X_B$ | $Y_B$ | $X_E$ | $Y_E$ | $X_F$ | $Y_F$ | $X_G$ | $Y_G$ | $X_M$ | $Y_M$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -147,42 | 374,46 | -14,00 | 473,28 | 137,97 | 469,93 | -18,13 | 400,33 | -206,90 | 201,98 |
| 2 | -148,13 | 374,39 | -14,61 | 473,06 | 137,36 | 469,74 | -18,72 | 400,12 | -201,81 | 200,37 |
| 3 | -150,37 | 374,15 | -16,53 | 472,38 | 135,44 | 469,13 | -20,60 | 399,43 | -196,86 | 198,37 |
| 4 | -154,31 | 373,61 | -19,94 | 471,12 | 132,03 | 468,02 | -23,95 | 398,17 | -192,09 | 195,98 |
| 5 | -160,01 | 372,60 | -24,96 | 469,16 | 127,02 | 466,28 | -28,86 | 396,20 | -187,51 | 193,23 |
| 6 | -167,37 | 370,87 | -31,58 | 466,39 | 120,40 | 463,82 | -35,33 | 393,42 | -183,17 | 190,12 |
| 7 | -176,11 | 368,16 | -39,63 | 462,71 | 112,36 | 460,55 | -43,19 | 389,73 | -179,08 | 186,69 |
| 8 | -185,75 | 364,30 | -48,76 | 458,11 | 103,23 | 456,45 | -52,08 | 385,12 | -175,28 | 182,94 |
| 9 | -195,73 | 359,24 | -58,49 | 452,67 | 93,51 | 451,58 | -61,53 | 379,68 | -171,78 | 178,91 |
| 10 | -205,49 | 353,06 | -68,31 | 446,59 | 83,69 | 446,10 | -71,07 | 373,58 | -168,61 | 174,62 |
| 11 | -214,59 | 346,00 | -77,80 | 440,09 | 74,20 | 440,20 | -80,26 | 367,07 | -165,78 | 170,09 |
| 12 | -222,75 | 338,36 | -86,63 | 433,42 | 65,37 | 434,11 | -88,82 | 360,39 | -163,32 | 165,35 |
| 13 | -229,82 | 330,42 | -94,63 | 426,80 | 57,37 | 428,00 | -96,57 | 353,76 | -161,24 | 160,43 |
| 14 | -235,78 | 322,46 | -101,73 | 420,41 | 50,27 | 422,05 | -103,46 | 347,37 | -159,55 | 155,37 |
| 15 | -240,70 | 314,67 | -107,94 | 414,37 | 44,05 | 416,35 | -109,50 | 341,32 | -158,26 | 150,18 |
| 16 | -244,68 | 307,20 | -113,32 | 408,73 | 38,67 | 410,98 | -114,76 | 335,69 | -157,38 | 144,92 |
| 17 | -247,86 | 300,15 | -117,96 | 403,55 | 34,03 | 405,97 | -119,31 | 330,50 | -156,92 | 139,60 |
| 18 | -250,35 | 293,58 | -121,94 | 398,81 | 30,04 | 401,34 | -123,24 | 325,76 | -156,88 | 134,26 |
| 19 | -252,28 | 287,49 | -125,35 | 394,51 | 26,63 | 397,08 | -126,64 | 321,46 | -157,26 | 128,93 |
| 20 | -253,74 | 281,89 | -128,28 | 390,63 | 23,70 | 393,18 | -129,57 | 317,58 | -158,05 | 123,65 |
| 21 | -254,84 | 276,78 | -130,79 | 387,13 | 21,19 | 389,61 | -132,11 | 314,08 | -159,26 | 118,45 |
| 22 | -255,64 | 272,13 | -132,94 | 383,98 | 19,04 | 386,37 | -134,31 | 310,93 | -160,87 | 113,36 |
| 23 | -256,20 | 267,91 | -134,79 | 381,16 | 17,19 | 383,43 | -136,22 | 308,11 | -162,87 | 108,41 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | -256,58 | 264,11 | -136,38 | 378,63 | 15,61 | 380,76 | -137,88 | 305,59 | -165,26 | 103,64 |
| 25 | -256,82 | 260,69 | -137,75 | 376,39 | 14,24 | 378,36 | -139,32 | 303,34 | -168,01 | 99,06 |
| 26 | -256,95 | 257,63 | -138,92 | 374,39 | 13,08 | 376,20 | -140,56 | 301,35 | -171,12 | 94,72 |
| 27 | -257,00 | 254,92 | -139,91 | 372,63 | 12,08 | 374,28 | -141,64 | 299,59 | -174,55 | 90,63 |
| 28 | -257,00 | 252,54 | -140,76 | 371,09 | 11,23 | 372,58 | -142,57 | 298,05 | -178,30 | 86,83 |
| 29 | -256,95 | 250,47 | -141,48 | 369,76 | 10,52 | 371,10 | -143,36 | 296,72 | -182,33 | 83,33 |
| 30 | -256,89 | 248,69 | -142,08 | 368,62 | 9,92 | 369,82 | -144,02 | 295,58 | -186,63 | 80,15 |
| 31 | -256,81 | 247,20 | -142,56 | 367,67 | 9,43 | 368,74 | -144,57 | 294,63 | -191,16 | 77,33 |
| 32 | -256,74 | 245,99 | -142,95 | 366,90 | 9,05 | 367,86 | -145,01 | 293,86 | -195,90 | 74,87 |
| 33 | -256,67 | 245,06 | -143,25 | 366,30 | 8,75 | 367,18 | -145,34 | 293,27 | -200,81 | 72,78 |
| 34 | -256,62 | 244,41 | -143,45 | 365,89 | 8,55 | 366,70 | -145,58 | 292,85 | -205,88 | 71,10 |
| 35 | -256,59 | 244,02 | -143,57 | 365,64 | 8,43 | 366,42 | -145,72 | 292,61 | -211,06 | 69,81 |
| 36 | -256,58 | 243,91 | -143,61 | 365,57 | 8,39 | 366,34 | -145,76 | 292,54 | -216,33 | 68,93 |
| 37 | -256,60 | 244,08 | -143,55 | 365,68 | 8,45 | 366,47 | -145,70 | 292,65 | -221,64 | 68,47 |
| 38 | -256,63 | 244,53 | -143,41 | 365,97 | 8,59 | 366,80 | -145,53 | 292,93 | -226,98 | 68,43 |
| 39 | -256,69 | 245,27 | -143,18 | 366,44 | 8,82 | 367,34 | -145,27 | 293,41 | -232,31 | 68,81 |
| 40 | -256,76 | 246,31 | -142,85 | 367,10 | 9,15 | 368,09 | -144,89 | 294,06 | -237,59 | 69,60 |

Продолжение таблицы А.2

| | $X_B$ | $Y_B$ | $X_E$ | $Y_E$ | $X_F$ | $Y_F$ | $X_G$ | $Y_G$ | $X_M$ | $Y_M$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | -256,84 | 247,64 | -142,42 | 367,95 | 9,58 | 369,06 | -144,41 | 294,92 | -242,79 | 70,80 |
| 42 | -256,91 | 249,29 | -141,88 | 369,00 | 10,12 | 370,25 | -143,80 | 295,97 | -247,88 | 72,41 |
| 43 | -256,97 | 251,24 | -141,21 | 370,26 | 10,78 | 371,66 | -143,06 | 297,22 | -252,83 | 74,42 |
| 44 | -257,00 | 253,51 | -140,42 | 371,72 | 11,57 | 373,28 | -142,19 | 298,68 | -257,61 | 76,81 |
| 45 | -256,99 | 256,09 | -139,49 | 373,39 | 12,51 | 375,11 | -141,18 | 300,35 | -262,18 | 79,56 |
| 46 | -256,90 | 258,99 | -138,40 | 375,28 | 13,59 | 377,16 | -140,02 | 302,23 | -266,53 | 82,66 |
| 47 | -256,73 | 262,19 | -137,16 | 377,37 | 14,83 | 379,42 | -138,69 | 304,32 | -270,61 | 86,10 |
| 48 | -256,44 | 265,68 | -135,73 | 379,68 | 16,25 | 381,87 | -137,20 | 306,63 | -274,42 | 89,84 |
| 49 | -256,01 | 269,46 | -134,13 | 382,19 | 17,86 | 384,51 | -135,53 | 309,14 | -277,92 | 93,88 |
| 50 | -255,42 | 273,50 | -132,32 | 384,90 | 19,66 | 387,32 | -133,68 | 311,85 | -281,09 | 98,17 |
| 51 | -254,65 | 277,78 | -130,31 | 387,80 | 21,67 | 390,31 | -131,63 | 314,75 | -283,91 | 102,70 |
| 52 | -253,65 | 282,27 | -128,09 | 390,89 | 23,90 | 393,44 | -129,38 | 317,84 | -286,38 | 107,44 |
| 53 | -252,43 | 286,96 | -125,64 | 394,14 | 26,34 | 396,71 | -126,92 | 321,09 | -288,46 | 112,36 |
| 54 | -250,95 | 291,80 | -122,96 | 397,55 | 29,02 | 400,09 | -124,26 | 324,50 | -290,15 | 117,42 |
| 55 | -249,19 | 296,77 | -120,05 | 401,10 | 31,94 | 403,58 | -121,37 | 328,05 | -291,44 | 122,60 |
| 56 | -247,15 | 301,82 | -116,90 | 404,76 | 35,09 | 407,15 | -118,27 | 331,72 | -292,31 | 127,87 |
| 57 | -244,82 | 306,93 | -113,51 | 408,53 | 38,48 | 410,78 | -114,95 | 335,48 | -292,77 | 133,19 |
| 58 | -242,17 | 312,05 | -109,89 | 412,37 | 42,10 | 414,45 | -111,41 | 339,32 | -292,81 | 138,53 |
| 59 | -239,22 | 317,14 | -106,03 | 416,27 | 45,96 | 418,15 | -107,65 | 343,22 | -292,44 | 143,85 |
| 60 | -235,96 | 322,18 | -101,96 | 420,19 | 50,04 | 421,84 | -103,68 | 347,15 | -291,64 | 149,13 |
| 61 | -232,41 | 327,13 | -97,66 | 424,13 | 54,33 | 425,52 | -99,52 | 351,09 | -290,44 | 154,34 |
| 62 | -228,56 | 331,94 | -93,17 | 428,05 | 58,83 | 429,16 | -95,16 | 355,01 | -288,83 | 159,43 |
| 63 | -224,43 | 336,60 | -88,49 | 431,92 | 63,51 | 432,74 | -90,62 | 358,89 | -286,82 | 164,38 |
| 64 | -220,04 | 341,06 | -83,65 | 435,74 | 68,35 | 436,23 | -85,93 | 362,71 | -284,44 | 169,15 |
| 65 | -215,41 | 345,30 | -78,67 | 439,46 | 73,34 | 439,63 | -81,10 | 366,44 | -281,68 | 173,73 |
| 66 | -210,57 | 349,30 | -73,56 | 443,07 | 78,44 | 442,92 | -76,16 | 370,05 | -278,58 | 178,07 |
| 67 | -205,55 | 353,02 | -68,37 | 446,55 | 83,63 | 446,07 | -71,12 | 373,54 | -275,14 | 182,16 |
| 68 | -200,38 | 356,46 | -63,13 | 449,88 | 88,87 | 449,07 | -66,04 | 376,87 | -271,40 | 185,96 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 69 | -195,10 | 359,59 | -57,87 | 453,04 | 94,13 | 451,91 | -60,93 | 380,04 | -267,37 | 189,46 |
| 70 | -189,76 | 362,40 | -52,64 | 456,01 | 99,36 | 454,57 | -55,85 | 383,02 | -263,07 | 192,63 |
| 71 | -184,41 | 364,90 | -47,48 | 458,78 | 104,52 | 457,05 | -50,83 | 385,80 | -258,54 | 195,46 |
| 72 | -179,10 | 367,07 | -42,44 | 461,34 | 109,55 | 459,33 | -45,92 | 388,36 | -253,80 | 197,92 |
| 73 | -173,90 | 368,92 | -37,57 | 463,68 | 114,41 | 461,42 | -41,18 | 390,71 | -248,89 | 200,00 |
| 74 | -168,87 | 370,45 | -32,94 | 465,79 | 119,04 | 463,29 | -36,66 | 392,82 | -243,82 | 201,69 |
| 75 | -164,10 | 371,70 | -28,62 | 467,65 | 123,36 | 464,95 | -32,44 | 394,69 | -238,64 | 202,98 |
| 76 | -159,69 | 372,66 | -24,67 | 469,28 | 127,31 | 466,39 | -28,58 | 396,32 | -233,37 | 203,86 |
| 77 | -155,73 | 373,38 | -21,18 | 470,64 | 130,79 | 467,60 | -25,16 | 397,69 | -228,05 | 204,32 |
| 78 | -152,37 | 373,89 | -18,25 | 471,75 | 133,72 | 468,58 | -22,29 | 398,80 | -222,72 | 204,36 |
| 79 | -149,74 | 374,22 | -15,98 | 472,57 | 135,98 | 469,31 | -20,07 | 399,63 | -217,39 | 203,98 |
| 80 | -148,03 | 374,40 | -14,52 | 473,09 | 137,45 | 469,77 | -18,63 | 400,15 | -212,11 | 203,19 |
| 81 | -147,42 | 374,46 | -14,00 | 473,28 | 137,97 | 469,93 | -18,13 | 400,33 | -206,91 | 201,99 |

Таблица А.3 – Координаты звеньев I, K, D, $P_1$ и $P_2$

| | $X_I$ | $Y_I$ | $X_K$ | $Y_K$ | $X_D$ | $Y_D$ | $X_{P1}$ | $Y_{P1}$ | $X_{P2}$ | $Y_{P2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -1,11 | 258,00 | 127,97 | 291,74 | 244,66 | 370,72 | 14,42 | 611,89 | 307,27 | 648,64 |
| 2 | -1,33 | 257,83 | 127,75 | 291,57 | 244,29 | 370,79 | 13,96 | 611,65 | 306,24 | 648,86 |
| 3 | -2,01 | 257,29 | 127,06 | 291,05 | 243,11 | 370,98 | 12,50 | 610,87 | 302,97 | 649,51 |
| 4 | -3,22 | 256,32 | 125,84 | 290,11 | 241,00 | 371,31 | 9,83 | 609,45 | 297,14 | 650,61 |
| 5 | -4,99 | 254,85 | 124,06 | 288,69 | 237,88 | 371,76 | 5,78 | 607,28 | 288,47 | 652,12 |
| 6 | -7,29 | 252,84 | 121,74 | 286,76 | 233,74 | 372,27 | 0,22 | 604,27 | 276,87 | 653,88 |
| 7 | -10,05 | 250,26 | 118,94 | 284,34 | 228,64 | 372,78 | -6,84 | 600,35 | 262,48 | 655,65 |
| 8 | -13,11 | 247,17 | 115,83 | 281,47 | 222,79 | 373,20 | -15,23 | 595,57 | 245,78 | 657,16 |
| 9 | -16,29 | 243,66 | 112,56 | 278,27 | 216,47 | 373,45 | -24,59 | 590,05 | 227,46 | 658,12 |
| 10 | -19,41 | 239,86 | 109,33 | 274,89 | 209,99 | 373,49 | -34,50 | 583,99 | 208,36 | 658,37 |
| 11 | -22,34 | 235,94 | 106,26 | 271,46 | 203,63 | 373,32 | -44,54 | 577,62 | 189,25 | 657,84 |
| 12 | -24,98 | 232,04 | 103,46 | 268,12 | 197,61 | 372,96 | -54,36 | 571,19 | 170,76 | 656,58 |
| 13 | -27,30 | 228,26 | 100,97 | 264,96 | 192,06 | 372,47 | -63,70 | 564,88 | 153,32 | 654,71 |
| 14 | -29,29 | 224,70 | 98,79 | 262,04 | 187,05 | 371,88 | -72,42 | 558,84 | 137,17 | 652,37 |
| 15 | -30,98 | 221,39 | 96,91 | 259,38 | 182,59 | 371,25 | -80,44 | 553,17 | 122,43 | 649,71 |
| 16 | -32,40 | 218,36 | 95,30 | 256,99 | 178,65 | 370,60 | -87,75 | 547,90 | 109,08 | 646,86 |
| 17 | -33,59 | 215,61 | 93,92 | 254,86 | 175,20 | 369,97 | -94,38 | 543,07 | 97,08 | 643,93 |
| 18 | -34,58 | 213,12 | 92,75 | 252,97 | 172,18 | 369,36 | -100,35 | 538,66 | 86,31 | 640,99 |
| 19 | -35,41 | 210,89 | 91,74 | 251,30 | 169,55 | 368,78 | -105,73 | 534,65 | 76,68 | 638,11 |
| 20 | -36,10 | 208,89 | 90,88 | 249,83 | 167,25 | 368,25 | -110,55 | 531,01 | 68,07 | 635,32 |
| 21 | -36,68 | 207,11 | 90,14 | 248,53 | 165,24 | 367,76 | -114,88 | 527,73 | 60,38 | 632,65 |
| 22 | -37,17 | 205,51 | 89,50 | 247,39 | 163,48 | 367,32 | -118,75 | 524,76 | 53,51 | 630,12 |
| 23 | -37,58 | 204,09 | 88,96 | 246,38 | 161,94 | 366,91 | -122,21 | 522,10 | 47,37 | 627,75 |
| 24 | -37,93 | 202,83 | 88,48 | 245,49 | 160,60 | 366,55 | -125,30 | 519,70 | 41,91 | 625,53 |
| 25 | -38,23 | 201,71 | 88,07 | 244,71 | 159,43 | 366,22 | -128,04 | 517,55 | 37,04 | 623,48 |
| 26 | -38,47 | 200,72 | 87,72 | 244,03 | 158,40 | 365,93 | -130,47 | 515,64 | 32,72 | 621,59 |
| 27 | -38,68 | 199,85 | 87,41 | 243,43 | 157,51 | 365,67 | -132,61 | 513,94 | 28,92 | 619,88 |
| 28 | -38,86 | 199,09 | 87,15 | 242,92 | 156,75 | 365,44 | -134,48 | 512,45 | 25,58 | 618,34 |
| 29 | -39,01 | 198,43 | 86,93 | 242,47 | 156,09 | 365,25 | -136,10 | 511,16 | 22,69 | 616,97 |
| 30 | -39,13 | 197,87 | 86,74 | 242,10 | 155,53 | 365,08 | -137,48 | 510,04 | 20,22 | 615,78 |
| 31 | -39,23 | 197,41 | 86,59 | 241,79 | 155,07 | 364,94 | -138,63 | 509,11 | 18,15 | 614,76 |
| 32 | -39,31 | 197,03 | 86,46 | 241,54 | 154,70 | 364,82 | -139,56 | 508,36 | 16,48 | 613,93 |
| 33 | -39,37 | 196,74 | 86,37 | 241,34 | 154,42 | 364,73 | -140,28 | 507,77 | 15,18 | 613,27 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 34 | -39,41 | 196,54 | 86,30 | 241,21 | 154,22 | 364,67 | -140,78 | 507,36 | 14,27 | 612,81 |
| 35 | -39,44 | 196,42 | 86,27 | 241,13 | 154,11 | 364,64 | -141,08 | 507,12 | 13,74 | 612,54 |
| 36 | -39,44 | 196,38 | 86,25 | 241,11 | 154,07 | 364,62 | -141,16 | 507,05 | 13,58 | 612,46 |
| 37 | -39,43 | 196,44 | 86,27 | 241,14 | 154,12 | 364,64 | -141,03 | 507,16 | 13,82 | 612,58 |
| 38 | -39,40 | 196,58 | 86,32 | 241,24 | 154,26 | 364,68 | -140,69 | 507,44 | 14,45 | 612,90 |
| 39 | -39,36 | 196,81 | 86,39 | 241,39 | 154,49 | 364,75 | -140,12 | 507,90 | 15,47 | 613,42 |
| 40 | -39,29 | 197,13 | 86,50 | 241,60 | 154,80 | 364,85 | -139,32 | 508,55 | 16,91 | 614,14 |

Продолжение таблица А.3

| | $X_I$ | $Y_I$ | $X_K$ | $Y_K$ | $X_D$ | $Y_D$ | $X_{P1}$ | $Y_{P1}$ | $X_{P2}$ | $Y_{P2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | -39,20 | 197,55 | 86,63 | 241,88 | 155,21 | 364,98 | -138,29 | 509,39 | 18,77 | 615,07 |
| 42 | -39,09 | 198,06 | 86,80 | 242,23 | 155,72 | 365,13 | -137,02 | 510,42 | 21,06 | 616,18 |
| 43 | -38,95 | 198,68 | 87,01 | 242,64 | 156,33 | 365,32 | -135,50 | 511,64 | 23,78 | 617,49 |
| 44 | -38,79 | 199,40 | 87,26 | 243,13 | 157,06 | 365,54 | -133,72 | 513,06 | 26,94 | 618,97 |
| 45 | -38,59 | 200,22 | 87,54 | 243,69 | 157,90 | 365,78 | -131,69 | 514,68 | 30,56 | 620,63 |
| 46 | -38,37 | 201,16 | 87,87 | 244,33 | 158,85 | 366,06 | -129,40 | 516,49 | 34,64 | 622,44 |
| 47 | -38,10 | 202,20 | 88,25 | 245,05 | 159,94 | 366,36 | -126,84 | 518,49 | 39,17 | 624,38 |
| 48 | -37,79 | 203,35 | 88,67 | 245,86 | 161,15 | 366,70 | -124,02 | 520,69 | 44,16 | 626,45 |
| 49 | -37,44 | 204,61 | 89,15 | 246,74 | 162,50 | 367,06 | -120,95 | 523,07 | 49,61 | 628,63 |
| 50 | -37,03 | 205,98 | 89,69 | 247,72 | 163,99 | 367,45 | -117,62 | 525,63 | 55,51 | 630,87 |
| 51 | -36,57 | 207,45 | 90,28 | 248,78 | 165,62 | 367,86 | -114,04 | 528,36 | 61,86 | 633,18 |
| 52 | -36,06 | 209,03 | 90,94 | 249,93 | 167,40 | 368,29 | -110,23 | 531,26 | 68,65 | 635,51 |
| 53 | -35,48 | 210,70 | 91,66 | 251,16 | 169,32 | 368,73 | -106,19 | 534,30 | 75,86 | 637,85 |
| 54 | -34,83 | 212,47 | 92,45 | 252,48 | 171,40 | 369,19 | -101,93 | 537,48 | 83,47 | 640,17 |
| 55 | -34,11 | 214,32 | 93,30 | 253,87 | 173,62 | 369,65 | -97,48 | 540,79 | 91,49 | 642,44 |
| 56 | -33,32 | 216,25 | 94,24 | 255,35 | 175,99 | 370,12 | -92,83 | 544,20 | 99,87 | 644,65 |
| 57 | -32,45 | 218,25 | 95,24 | 256,90 | 178,51 | 370,58 | -88,02 | 547,71 | 108,60 | 646,75 |
| 58 | -31,50 | 220,31 | 96,33 | 258,52 | 181,17 | 371,03 | -83,05 | 551,30 | 117,66 | 648,74 |
| 59 | -30,47 | 222,42 | 97,49 | 260,20 | 183,96 | 371,46 | -77,94 | 554,95 | 127,02 | 650,59 |
| 60 | -29,36 | 224,58 | 98,72 | 261,94 | 186,89 | 371,86 | -72,71 | 558,64 | 136,64 | 652,28 |
| 61 | -28,16 | 226,76 | 100,03 | 263,72 | 189,93 | 372,24 | -67,37 | 562,35 | 146,49 | 653,79 |
| 62 | -26,88 | 228,97 | 101,42 | 265,55 | 193,08 | 372,57 | -61,96 | 566,06 | 156,55 | 655,11 |
| 63 | -25,53 | 231,18 | 102,88 | 267,40 | 196,32 | 372,86 | -56,50 | 569,76 | 166,76 | 656,21 |
| 64 | -24,10 | 233,38 | 104,40 | 269,26 | 199,65 | 373,10 | -50,99 | 573,42 | 177,08 | 657,09 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 65 | -22,60 | 235,57 | 105,98 | 271,14 | 203,05 | 373,29 | -45,49 | 577,01 | 187,47 | 657,75 |
| 66 | -21,04 | 237,72 | 107,62 | 273,01 | 206,49 | 373,42 | -40,00 | 580,53 | 197,88 | 658,18 |
| 67 | -19,43 | 239,84 | 109,31 | 274,87 | 209,95 | 373,49 | -34,56 | 583,95 | 208,25 | 658,37 |
| 68 | -17,77 | 241,89 | 111,02 | 276,69 | 213,43 | 373,49 | -29,21 | 587,25 | 218,52 | 658,33 |
| 69 | -16,09 | 243,89 | 112,77 | 278,48 | 216,88 | 373,44 | -23,98 | 590,42 | 228,64 | 658,08 |
| 70 | -14,38 | 245,80 | 114,52 | 280,21 | 220,29 | 373,32 | -18,91 | 593,43 | 238,54 | 657,62 |
| 71 | -12,68 | 247,62 | 116,26 | 281,88 | 223,62 | 373,15 | -14,02 | 596,27 | 248,15 | 656,98 |
| 72 | -11,00 | 249,33 | 117,98 | 283,47 | 226,85 | 372,93 | -9,38 | 598,92 | 257,39 | 656,17 |
| 73 | -9,35 | 250,94 | 119,65 | 284,97 | 229,95 | 372,66 | -5,01 | 601,38 | 266,19 | 655,24 |
| 74 | -7,77 | 252,41 | 121,26 | 286,36 | 232,88 | 372,37 | -0,95 | 603,62 | 274,45 | 654,21 |
| 75 | -6,27 | 253,75 | 122,77 | 287,63 | 235,60 | 372,06 | 2,74 | 605,64 | 282,08 | 653,12 |
| 76 | -4,89 | 254,94 | 124,16 | 288,77 | 238,06 | 371,74 | 6,02 | 607,41 | 288,97 | 652,04 |
| 77 | -3,66 | 255,96 | 125,40 | 289,76 | 240,23 | 371,43 | 8,84 | 608,92 | 295,00 | 651,00 |
| 78 | -2,63 | 256,81 | 126,45 | 290,57 | 242,05 | 371,15 | 11,16 | 610,16 | 300,04 | 650,07 |
| 79 | -1,82 | 257,44 | 127,26 | 291,20 | 243,44 | 370,93 | 12,91 | 611,09 | 303,90 | 649,32 |
| 80 | -1,29 | 257,85 | 127,78 | 291,60 | 244,35 | 370,78 | 14,03 | 611,69 | 306,39 | 648,82 |
| 81 | -1,11 | 258,00 | 127,97 | 291,74 | 244,66 | 370,72 | 14,42 | 611,89 | 307,27 | 648,64 |

Таблица А.4 – Скорости звеньев В, Е, М

| | VxB | VyB | VB | VxE | VyE | VE | VxM | VyM | VM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0,17 | -0,02 | 0,17 | -0,15 | -0,05 | 0,16 | 51,51 | -14,09 | 53,41 |
| 2 | -14,46 | -1,46 | 14,53 | -12,35 | -4,31 | 13,08 | 50,25 | -18,09 | 53,41 |
| 3 | -30,69 | -3,67 | 30,91 | -26,56 | -9,35 | 28,15 | 48,67 | -21,98 | 53,41 |
| 4 | -48,19 | -7,38 | 48,75 | -42,48 | -15,34 | 45,16 | 46,80 | -25,73 | 53,41 |
| 5 | -65,62 | -13,29 | 66,96 | -59,23 | -22,37 | 63,32 | 44,64 | -29,32 | 53,41 |
| 6 | -81,15 | -21,78 | 84,02 | -75,28 | -30,29 | 81,14 | 42,20 | -32,73 | 53,41 |
| 7 | -92,77 | -32,59 | 98,33 | -88,66 | -38,65 | 96,72 | 39,50 | -35,94 | 53,41 |
| 8 | -99,05 | -44,67 | 108,66 | -97,66 | -46,73 | 108,27 | 36,56 | -38,93 | 53,41 |
| 9 | -99,56 | -56,50 | 114,47 | -101,44 | -53,71 | 114,78 | 33,39 | -41,68 | 53,41 |
| 10 | -94,96 | -66,61 | 115,99 | -100,19 | -58,90 | 116,22 | 30,02 | -44,17 | 53,41 |
| 11 | -86,65 | -74,02 | 113,97 | -94,97 | -61,92 | 113,38 | 26,46 | -46,39 | 53,41 |
| 12 | -76,23 | -78,39 | 109,34 | -87,17 | -62,80 | 107,44 | 22,74 | -48,32 | 53,41 |
| 13 | -65,09 | -79,91 | 103,06 | -78,10 | -61,82 | 99,60 | 18,88 | -49,96 | 53,41 |
| 14 | -54,24 | -79,06 | 95,88 | -68,76 | -59,43 | 90,88 | 14,90 | -51,29 | 53,41 |
| 15 | -44,31 | -76,47 | 88,38 | -59,82 | -56,08 | 82,00 | 10,83 | -52,30 | 53,41 |
| 16 | -35,58 | -72,68 | 80,93 | -51,64 | -52,19 | 73,42 | 6,69 | -52,99 | 53,41 |
| 17 | -28,14 | -68,19 | 73,77 | -44,37 | -48,07 | 65,42 | 2,52 | -53,35 | 53,41 |
| 18 | -21,92 | -63,34 | 67,03 | -38,04 | -43,94 | 58,12 | -1,68 | -53,38 | 53,41 |
| 19 | -16,82 | -58,39 | 60,77 | -32,59 | -39,93 | 51,54 | -5,86 | -53,08 | 53,41 |
| 20 | -12,68 | -53,51 | 54,99 | -27,91 | -36,14 | 45,67 | -10,01 | -52,46 | 53,41 |
| 21 | -9,35 | -48,80 | 49,69 | -23,93 | -32,60 | 40,44 | -14,09 | -51,51 | 53,41 |
| 22 | -6,71 | -44,31 | 44,82 | -20,52 | -29,32 | 35,79 | -18,09 | -50,25 | 53,41 |
| 23 | -4,64 | -40,07 | 40,33 | -17,60 | -26,30 | 31,65 | -21,98 | -48,67 | 53,41 |
| 24 | -3,02 | -36,08 | 36,20 | -15,10 | -23,51 | 27,94 | -25,73 | -46,80 | 53,41 |
| 25 | -1,79 | -32,32 | 32,37 | -12,94 | -20,94 | 24,61 | -29,32 | -44,64 | 53,41 |
| 26 | -0,86 | -28,78 | 28,80 | -11,06 | -18,55 | 21,60 | -32,73 | -42,20 | 53,41 |
| 27 | -0,19 | -25,44 | 25,44 | -9,41 | -16,33 | 18,85 | -35,94 | -39,50 | 53,41 |
| 28 | 0,27 | -22,27 | 22,27 | -7,96 | -14,24 | 16,32 | -38,93 | -36,56 | 53,41 |
| 29 | 0,56 | -19,23 | 19,24 | -6,67 | -12,27 | 13,96 | -41,68 | -33,39 | 53,41 |
| 30 | 0,72 | -16,31 | 16,32 | -5,50 | -10,38 | 11,75 | -44,17 | -30,02 | 53,41 |
| 31 | 0,76 | -13,47 | 13,49 | -4,44 | -8,56 | 9,64 | -46,39 | -26,46 | 53,41 |
| 32 | 0,71 | -10,69 | 10,71 | -3,45 | -6,79 | 7,61 | -48,32 | -22,74 | 53,41 |
| 33 | 0,59 | -7,94 | 7,97 | -2,52 | -5,04 | 5,64 | -49,96 | -18,88 | 53,41 |
| 34 | 0,41 | -5,21 | 5,23 | -1,63 | -3,31 | 3,69 | -51,29 | -14,90 | 53,41 |
| 35 | 0,20 | -2,47 | 2,48 | -0,77 | -1,57 | 1,75 | -52,30 | -10,83 | 53,41 |
| 36 | -0,02 | 0,29 | 0,29 | 0,09 | 0,18 | 0,20 | -52,99 | -6,69 | 53,41 |
| 37 | -0,25 | 3,10 | 3,11 | 0,96 | 1,97 | 2,19 | -53,35 | -2,52 | 53,41 |
| 38 | -0,47 | 5,95 | 5,97 | 1,85 | 3,79 | 4,22 | -53,38 | 1,68 | 53,41 |
| 39 | -0,64 | 8,87 | 8,89 | 2,78 | 5,66 | 6,31 | -53,08 | 5,86 | 53,41 |
| 40 | -0,75 | 11,85 | 11,87 | 3,76 | 7,59 | 8,46 | -52,46 | 10,01 | 53,41 |

Продолжение таблица А.4

| | VxB | VyB | VB | VxE | VyE | VE | VxM | VyM | VM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | -0,78 | 14,89 | 14,91 | 4,80 | 9,56 | 10,70 | -51,51 | 14,09 | 53,41 |
| 42 | -0,70 | 17,98 | 18,00 | 5,92 | 11,59 | 13,02 | -50,25 | 18,09 | 53,41 |
| 43 | -0,48 | 21,11 | 21,12 | 7,14 | 13,67 | 15,42 | -48,68 | 21,98 | 53,41 |
| 44 | -0,10 | 24,26 | 24,26 | 8,44 | 15,78 | 17,90 | -46,80 | 25,73 | 53,41 |
| 45 | 0,47 | 27,39 | 27,39 | 9,86 | 17,93 | 20,46 | -44,64 | 29,32 | 53,41 |
| 46 | 1,26 | 30,48 | 30,50 | 11,38 | 20,09 | 23,09 | -42,20 | 32,73 | 53,41 |
| 47 | 2,27 | 33,49 | 33,56 | 13,02 | 22,24 | 25,77 | -39,50 | 35,94 | 53,41 |
| 48 | 3,53 | 36,38 | 36,55 | 14,76 | 24,38 | 28,50 | -36,56 | 38,93 | 53,41 |
| 49 | 5,04 | 39,11 | 39,43 | 16,62 | 26,47 | 31,25 | -33,39 | 41,68 | 53,41 |
| 50 | 6,80 | 41,64 | 42,19 | 18,58 | 28,49 | 34,02 | -30,02 | 44,17 | 53,41 |
| 51 | 8,81 | 43,94 | 44,81 | 20,64 | 30,43 | 36,77 | -26,46 | 46,39 | 53,41 |
| 52 | 11,05 | 45,96 | 47,27 | 22,78 | 32,25 | 39,48 | -22,74 | 48,32 | 53,41 |
| 53 | 13,50 | 47,69 | 49,57 | 25,00 | 33,94 | 42,15 | -18,88 | 49,96 | 53,41 |
| 54 | 16,15 | 49,09 | 51,68 | 27,27 | 35,48 | 44,74 | -14,90 | 51,29 | 53,41 |
| 55 | 18,95 | 50,15 | 53,61 | 29,58 | 36,84 | 47,24 | -10,83 | 52,30 | 53,41 |
| 56 | 21,88 | 50,85 | 55,36 | 31,92 | 38,00 | 49,63 | -6,69 | 52,99 | 53,41 |
| 57 | 24,90 | 51,19 | 56,92 | 34,25 | 38,96 | 51,88 | -2,52 | 53,35 | 53,41 |
| 58 | 27,97 | 51,15 | 58,30 | 36,55 | 39,70 | 53,97 | 1,68 | 53,38 | 53,41 |
| 59 | 31,04 | 50,75 | 59,49 | 38,81 | 40,20 | 55,88 | 5,86 | 53,08 | 53,41 |
| 60 | 34,09 | 49,98 | 60,50 | 40,98 | 40,46 | 57,59 | 10,01 | 52,46 | 53,41 |
| 61 | 37,06 | 48,86 | 61,33 | 43,05 | 40,47 | 59,09 | 14,09 | 51,51 | 53,41 |
| 62 | 39,92 | 47,41 | 61,98 | 44,98 | 40,23 | 60,34 | 18,09 | 50,25 | 53,41 |
| 63 | 42,62 | 45,63 | 62,44 | 46,73 | 39,74 | 61,34 | 21,98 | 48,68 | 53,41 |
| 64 | 45,13 | 43,56 | 62,72 | 48,28 | 39,00 | 62,06 | 25,73 | 46,80 | 53,41 |
| 65 | 47,39 | 41,22 | 62,80 | 49,59 | 38,01 | 62,48 | 29,32 | 44,64 | 53,41 |
| 66 | 49,37 | 38,63 | 62,68 | 50,62 | 36,80 | 62,58 | 32,73 | 42,20 | 53,41 |
| 67 | 51,02 | 35,83 | 62,34 | 51,33 | 35,37 | 62,34 | 35,94 | 39,50 | 53,41 |
| 68 | 52,30 | 32,86 | 61,76 | 51,70 | 33,73 | 61,73 | 38,93 | 36,56 | 53,41 |
| 69 | 53,16 | 29,75 | 60,92 | 51,68 | 31,91 | 60,74 | 41,68 | 33,39 | 53,41 |
| 70 | 53,54 | 26,56 | 59,77 | 51,23 | 29,92 | 59,33 | 44,17 | 30,02 | 53,41 |
| 71 | 53,41 | 23,31 | 58,27 | 50,31 | 27,79 | 57,48 | 46,39 | 26,46 | 53,41 |
| 72 | 52,68 | 20,08 | 56,37 | 48,88 | 25,52 | 55,14 | 48,32 | 22,74 | 53,41 |
| 73 | 51,27 | 16,91 | 53,99 | 46,88 | 23,15 | 52,29 | 49,96 | 18,88 | 53,41 |
| 74 | 49,11 | 13,86 | 51,03 | 44,27 | 20,69 | 48,86 | 51,29 | 14,90 | 53,41 |
| 75 | 46,08 | 11,00 | 47,38 | 40,96 | 18,15 | 44,80 | 52,30 | 10,83 | 53,41 |
| 76 | 42,04 | 8,39 | 42,87 | 36,88 | 15,52 | 40,01 | 52,99 | 6,70 | 53,41 |
| 77 | 36,83 | 6,09 | 37,33 | 31,92 | 12,80 | 34,39 | 53,35 | 2,52 | 53,41 |
| 78 | 30,23 | 4,13 | 30,51 | 25,94 | 9,95 | 27,78 | 53,38 | -1,68 | 53,41 |
| 79 | 22,03 | 2,52 | 22,17 | 18,76 | 6,93 | 20,00 | 53,08 | -5,86 | 53,41 |
| 80 | 11,97 | 1,20 | 12,03 | 10,15 | 3,64 | 10,78 | 52,46 | -10,01 | 53,41 |
| 81 | -0,16 | -0,02 | 0,16 | -0,14 | -0,05 | 0,15 | 51,51 | -14,09 | 53,41 |

Таблица А.5 – Скорости звеньев F, G, I

| | VxF | VyF | VF | VxG | VyG | VG | VxI | VyI | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0,15 | -0,05 | 0,15 | -0,14 | -0,05 | 0,15 | -0,05 | -0,04 | 0,07 |
| 2 | -12,34 | -3,81 | 12,92 | -12,11 | -4,33 | 12,86 | -4,43 | -3,41 | 5,59 |
| 3 | -26,53 | -8,27 | 27,79 | -26,04 | -9,38 | 27,68 | -9,51 | -7,36 | 12,02 |
| 4 | -42,44 | -13,58 | 44,56 | -41,63 | -15,39 | 44,38 | -15,15 | -11,93 | 19,28 |
| 5 | -59,18 | -19,81 | 62,41 | -58,00 | -22,44 | 62,19 | -20,97 | -17,03 | 27,01 |
| 6 | -75,21 | -26,85 | 79,86 | -73,62 | -30,38 | 79,64 | -26,36 | -22,40 | 34,59 |
| 7 | -88,59 | -34,32 | 95,00 | -86,58 | -38,76 | 94,86 | -30,60 | -27,59 | 41,20 |
| 8 | -97,59 | -41,60 | 106,09 | -95,20 | -46,85 | 106,11 | -33,08 | -32,09 | 46,09 |
| 9 | -101,37 | -47,99 | 112,16 | -98,69 | -53,84 | 112,42 | -33,59 | -35,45 | 48,83 |
| 10 | -100,15 | -52,89 | 113,25 | -97,30 | -59,02 | 113,80 | -32,32 | -37,40 | 49,43 |
| 11 | -94,95 | -55,95 | 110,21 | -92,10 | -62,03 | 111,05 | -29,77 | -37,95 | 48,23 |
| 12 | -87,18 | -57,17 | 104,25 | -84,47 | -62,89 | 105,31 | -26,50 | -37,29 | 45,74 |
| 13 | -78,12 | -56,77 | 96,57 | -75,67 | -61,89 | 97,76 | -23,00 | -35,70 | 42,46 |
| 14 | -68,79 | -55,11 | 88,14 | -66,68 | -59,48 | 89,36 | -19,60 | -33,50 | 38,81 |
| 15 | -59,86 | -52,57 | 79,66 | -58,13 | -56,12 | 80,80 | -16,52 | -30,97 | 35,10 |
| 16 | -51,67 | -49,49 | 71,55 | -50,34 | -52,22 | 72,53 | -13,82 | -28,31 | 31,51 |
| 17 | -44,40 | -46,14 | 64,03 | -43,44 | -48,09 | 64,81 | -11,52 | -25,68 | 28,15 |
| 18 | -38,06 | -42,70 | 57,20 | -37,45 | -43,95 | 57,74 | -9,60 | -23,17 | 25,08 |
| 19 | -32,60 | -39,32 | 51,07 | -32,29 | -39,94 | 51,36 | -8,00 | -20,82 | 22,31 |
| 20 | -27,92 | -36,05 | 45,59 | -27,87 | -36,14 | 45,64 | -6,69 | -18,66 | 19,82 |
| 21 | -23,92 | -32,94 | 40,71 | -24,09 | -32,60 | 40,53 | -5,60 | -16,69 | 17,61 |
| 22 | -20,51 | -30,02 | 36,35 | -20,85 | -29,32 | 35,98 | -4,70 | -14,90 | 15,63 |
| 23 | -17,59 | -27,27 | 32,45 | -18,07 | -26,29 | 31,90 | -3,95 | -13,28 | 13,86 |
| 24 | -15,08 | -24,68 | 28,93 | -15,66 | -23,50 | 28,24 | -3,33 | -11,81 | 12,27 |
| 25 | -12,92 | -22,25 | 25,73 | -13,57 | -20,93 | 24,94 | -2,81 | -10,46 | 10,83 |
| 26 | -11,04 | -19,95 | 22,80 | -11,73 | -18,54 | 21,94 | -2,37 | -9,23 | 9,53 |
| 27 | -9,40 | -17,75 | 20,09 | -10,10 | -16,32 | 19,19 | -1,99 | -8,09 | 8,33 |
| 28 | -7,95 | -15,65 | 17,55 | -8,63 | -14,23 | 16,64 | -1,67 | -7,03 | 7,23 |
| 29 | -6,65 | -13,61 | 15,15 | -7,31 | -12,25 | 14,27 | -1,38 | -6,04 | 6,20 |
| 30 | -5,49 | -11,62 | 12,85 | -6,09 | -10,37 | 12,02 | -1,13 | -5,10 | 5,22 |
| 31 | -4,43 | -9,65 | 10,62 | -4,96 | -8,55 | 9,88 | -0,91 | -4,20 | 4,29 |
| 32 | -3,44 | -7,71 | 8,44 | -3,89 | -6,78 | 7,81 | -0,70 | -3,32 | 3,39 |
| 33 | -2,52 | -5,76 | 6,28 | -2,87 | -5,03 | 5,79 | -0,51 | -2,46 | 2,52 |
| 34 | -1,63 | -3,80 | 4,13 | -1,87 | -3,30 | 3,79 | -0,33 | -1,61 | 1,65 |
| 35 | -0,77 | -1,81 | 1,96 | -0,88 | -1,57 | 1,80 | -0,16 | -0,77 | 0,78 |
| 36 | 0,09 | 0,21 | 0,23 | 0,10 | 0,18 | 0,21 | 0,02 | 0,09 | 0,09 |
| 37 | 0,95 | 2,27 | 2,46 | 1,10 | 1,96 | 2,25 | 0,19 | 0,96 | 0,98 |
| 38 | 1,84 | 4,37 | 4,75 | 2,13 | 3,78 | 4,34 | 0,37 | 1,85 | 1,89 |
| 39 | 2,77 | 6,52 | 7,08 | 3,18 | 5,65 | 6,49 | 0,56 | 2,76 | 2,82 |
| 40 | 3,75 | 8,69 | 9,47 | 4,29 | 7,57 | 8,70 | 0,76 | 3,70 | 3,78 |

Продолжение таблица А.5

| | VxF | VyF | VF | VxG | VyG | VG | VxI | VyI | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | 4,79 | 10,90 | 11,91 | 5,45 | 9,54 | 10,99 | 0,97 | 4,67 | 4,77 |
| 42 | 5,91 | 13,13 | 14,40 | 6,67 | 11,57 | 13,35 | 1,21 | 5,67 | 5,80 |
| 43 | 7,12 | 15,37 | 16,94 | 7,95 | 13,65 | 15,79 | 1,46 | 6,70 | 6,86 |
| 44 | 8,43 | 17,60 | 19,51 | 9,32 | 15,76 | 18,31 | 1,74 | 7,76 | 7,95 |
| 45 | 9,84 | 19,80 | 22,11 | 10,76 | 17,91 | 20,89 | 2,05 | 8,84 | 9,07 |
| 46 | 11,36 | 21,96 | 24,73 | 12,28 | 20,07 | 23,53 | 2,39 | 9,94 | 10,22 |
| 47 | 12,99 | 24,06 | 27,34 | 13,89 | 22,23 | 26,21 | 2,77 | 11,04 | 11,38 |
| 48 | 14,74 | 26,07 | 29,95 | 15,58 | 24,36 | 28,92 | 3,18 | 12,15 | 12,56 |
| 49 | 16,60 | 27,98 | 32,54 | 17,35 | 26,45 | 31,63 | 3,63 | 13,25 | 13,74 |
| 50 | 18,56 | 29,77 | 35,09 | 19,20 | 28,48 | 34,35 | 4,13 | 14,34 | 14,92 |
| 51 | 20,62 | 31,43 | 37,59 | 21,12 | 30,42 | 37,03 | 4,66 | 15,39 | 16,08 |
| 52 | 22,77 | 32,93 | 40,04 | 23,11 | 32,24 | 39,67 | 5,24 | 16,42 | 17,23 |
| 53 | 24,99 | 34,27 | 42,41 | 25,15 | 33,94 | 42,24 | 5,86 | 17,39 | 18,35 |
| 54 | 27,27 | 35,43 | 44,71 | 27,25 | 35,48 | 44,73 | 6,52 | 18,30 | 19,43 |
| 55 | 29,59 | 36,40 | 46,91 | 29,37 | 36,84 | 47,12 | 7,21 | 19,15 | 20,47 |
| 56 | 31,93 | 37,18 | 49,01 | 31,52 | 38,01 | 49,38 | 7,94 | 19,92 | 21,45 |
| 57 | 34,27 | 37,75 | 50,98 | 33,67 | 38,97 | 51,50 | 8,70 | 20,61 | 22,37 |
| 58 | 36,58 | 38,12 | 52,83 | 35,79 | 39,71 | 53,47 | 9,48 | 21,20 | 23,22 |
| 59 | 38,84 | 38,28 | 54,53 | 37,88 | 40,22 | 55,25 | 10,28 | 21,69 | 24,00 |
| 60 | 41,01 | 38,22 | 56,06 | 39,91 | 40,49 | 56,85 | 11,08 | 22,07 | 24,69 |
| 61 | 43,08 | 37,95 | 57,41 | 41,84 | 40,50 | 58,23 | 11,87 | 22,33 | 25,29 |
| 62 | 45,00 | 37,47 | 58,56 | 43,65 | 40,26 | 59,38 | 12,65 | 22,48 | 25,79 |
| 63 | 46,75 | 36,78 | 59,48 | 45,31 | 39,78 | 60,29 | 13,41 | 22,50 | 26,19 |
| 64 | 48,30 | 35,88 | 60,17 | 46,78 | 39,04 | 60,93 | 14,11 | 22,39 | 26,47 |
| 65 | 49,60 | 34,80 | 60,59 | 48,04 | 38,06 | 61,29 | 14,76 | 22,15 | 26,62 |
| 66 | 50,62 | 33,53 | 60,72 | 49,04 | 36,85 | 61,35 | 15,34 | 21,79 | 26,65 |
| 67 | 51,33 | 32,08 | 60,53 | 49,76 | 35,42 | 61,08 | 15,83 | 21,29 | 26,53 |
| 68 | 51,69 | 30,48 | 60,01 | 50,14 | 33,79 | 60,46 | 16,20 | 20,67 | 26,26 |
| 69 | 51,66 | 28,73 | 59,12 | 50,16 | 31,97 | 59,48 | 16,45 | 19,92 | 25,83 |
| 70 | 51,21 | 26,86 | 57,83 | 49,76 | 29,98 | 58,10 | 16,56 | 19,04 | 25,23 |
| 71 | 50,29 | 24,87 | 56,10 | 48,92 | 27,85 | 56,29 | 16,49 | 18,05 | 24,45 |
| 72 | 48,85 | 22,79 | 53,91 | 47,57 | 25,58 | 54,01 | 16,24 | 16,93 | 23,46 |
| 73 | 46,85 | 20,63 | 51,19 | 45,68 | 23,21 | 51,23 | 15,77 | 15,70 | 22,25 |
| 74 | 44,23 | 18,41 | 47,91 | 43,17 | 20,75 | 47,90 | 15,07 | 14,35 | 20,80 |
| 75 | 40,93 | 16,12 | 43,98 | 39,99 | 18,20 | 43,93 | 14,09 | 12,87 | 19,08 |
| 76 | 36,85 | 13,77 | 39,33 | 36,04 | 15,56 | 39,25 | 12,81 | 11,25 | 17,05 |
| 77 | 31,89 | 11,34 | 33,85 | 31,22 | 12,83 | 33,75 | 11,19 | 9,48 | 14,66 |
| 78 | 25,91 | 8,81 | 27,37 | 25,39 | 9,98 | 27,28 | 9,16 | 7,52 | 11,85 |
| 79 | 18,74 | 6,13 | 19,72 | 18,38 | 6,95 | 19,65 | 6,66 | 5,33 | 8,53 |
| 80 | 10,14 | 3,22 | 10,64 | 9,95 | 3,65 | 10,60 | 3,62 | 2,84 | 4,60 |
| 81 | -0,14 | -0,04 | 0,14 | -0,13 | -0,05 | 0,14 | -0,05 | -0,04 | 0,06 |

Таблица А.6 – Скорости звеньев K, D

| | VxK | VyK | VK | VxD | VyD | VD |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0,05 | -0,04 | 0,07 | -0,09 | 0,02 | 0,09 |
| 2 | -4,44 | -3,34 | 5,56 | -7,59 | 1,30 | 7,70 |
| 3 | -9,55 | -7,21 | 11,96 | -16,32 | 2,76 | 16,56 |
| 4 | -15,22 | -11,64 | 19,16 | -26,18 | 4,26 | 26,52 |
| 5 | -21,11 | -16,51 | 26,80 | -36,67 | 5,56 | 37,09 |
| 6 | -26,60 | -21,52 | 34,21 | -46,92 | 6,33 | 47,35 |
| 7 | -30,97 | -26,18 | 40,55 | -55,77 | 6,31 | 56,13 |
| 8 | -33,63 | -30,00 | 45,07 | -62,14 | 5,36 | 62,37 |
| 9 | -34,35 | -32,56 | 47,33 | -65,41 | 3,65 | 65,51 |
| 10 | -33,31 | -33,71 | 47,39 | -65,58 | 1,52 | 65,59 |
| 11 | -30,98 | -33,52 | 45,64 | -63,16 | -0,66 | 63,17 |
| 12 | -27,89 | -32,24 | 42,63 | -58,95 | -2,55 | 59,01 |
| 13 | -24,53 | -30,22 | 38,93 | -53,73 | -4,01 | 53,87 |
| 14 | -21,25 | -27,76 | 34,96 | -48,13 | -4,99 | 48,39 |
| 15 | -18,22 | -25,14 | 31,05 | -42,61 | -5,54 | 42,97 |
| 16 | -15,54 | -22,53 | 27,37 | -37,44 | -5,76 | 37,88 |
| 17 | -13,23 | -20,05 | 24,02 | -32,75 | -5,73 | 33,25 |
| 18 | -11,26 | -17,77 | 21,04 | -28,58 | -5,54 | 29,11 |
| 19 | -9,61 | -15,70 | 18,41 | -24,93 | -5,24 | 25,48 |
| 20 | -8,21 | -13,85 | 16,11 | -21,75 | -4,89 | 22,29 |
| 21 | -7,04 | -12,21 | 14,10 | -18,98 | -4,51 | 19,51 |
| 22 | -6,05 | -10,76 | 12,35 | -16,58 | -4,13 | 17,09 |
| 23 | -5,21 | -9,47 | 10,81 | -14,49 | -3,75 | 14,96 |
| 24 | -4,49 | -8,33 | 9,46 | -12,65 | -3,39 | 13,10 |
| 25 | -3,87 | -7,31 | 8,27 | -11,03 | -3,04 | 11,45 |
| 26 | -3,34 | -6,39 | 7,21 | -9,60 | -2,71 | 9,97 |
| 27 | -2,86 | -5,55 | 6,25 | -8,31 | -2,40 | 8,65 |
| 28 | -2,44 | -4,79 | 5,38 | -7,14 | -2,10 | 7,45 |
| 29 | -2,06 | -4,09 | 4,58 | -6,08 | -1,81 | 6,34 |
| 30 | -1,71 | -3,43 | 3,84 | -5,08 | -1,53 | 5,31 |
| 31 | -1,39 | -2,81 | 3,14 | -4,15 | -1,27 | 4,34 |
| 32 | -1,09 | -2,22 | 2,47 | -3,27 | -1,01 | 3,42 |
| 33 | -0,80 | -1,64 | 1,82 | -2,41 | -0,75 | 2,53 |
| 34 | -0,52 | -1,07 | 1,19 | -1,57 | -0,49 | 1,65 |
| 35 | -0,25 | -0,51 | 0,56 | -0,75 | -0,23 | 0,78 |
| 36 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,03 | 0,09 |
| 37 | 0,31 | 0,63 | 0,71 | 0,93 | 0,29 | 0,98 |
| 38 | 0,59 | 1,22 | 1,36 | 1,80 | 0,56 | 1,88 |
| 39 | 0,89 | 1,83 | 2,04 | 2,69 | 0,84 | 2,82 |
| 40 | 1,20 | 2,46 | 2,74 | 3,62 | 1,13 | 3,79 |

Продолжение таблица А.5

| | VxK | VyK | VK | VxD | VyD | VD |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | 1,53 | 3,11 | 3,47 | 4,58 | 1,42 | 4,80 |
| 42 | 1,87 | 3,79 | 4,23 | 5,59 | 1,72 | 5,85 |
| 43 | 2,24 | 4,50 | 5,02 | 6,65 | 2,02 | 6,95 |
| 44 | 2,62 | 5,24 | 5,86 | 7,76 | 2,33 | 8,11 |
| 45 | 3,04 | 6,00 | 6,73 | 8,92 | 2,64 | 9,31 |
| 46 | 3,48 | 6,79 | 7,63 | 10,14 | 2,95 | 10,56 |
| 47 | 3,94 | 7,61 | 8,57 | 11,40 | 3,26 | 11,86 |
| 48 | 4,44 | 8,44 | 9,54 | 12,71 | 3,55 | 13,20 |
| 49 | 4,96 | 9,29 | 10,54 | 14,07 | 3,83 | 14,58 |
| 50 | 5,52 | 10,15 | 11,56 | 15,46 | 4,09 | 15,99 |
| 51 | 6,10 | 11,02 | 12,60 | 16,89 | 4,33 | 17,43 |
| 52 | 6,71 | 11,88 | 13,65 | 18,34 | 4,53 | 18,89 |
| 53 | 7,36 | 12,73 | 14,71 | 19,81 | 4,69 | 20,35 |
| 54 | 8,02 | 13,57 | 15,76 | 21,28 | 4,81 | 21,82 |
| 55 | 8,71 | 14,38 | 16,81 | 22,75 | 4,88 | 23,27 |
| 56 | 9,43 | 15,15 | 17,84 | 24,20 | 4,90 | 24,69 |
| 57 | 10,15 | 15,87 | 18,84 | 25,62 | 4,85 | 26,08 |
| 58 | 10,89 | 16,54 | 19,80 | 27,00 | 4,74 | 27,41 |
| 59 | 11,64 | 17,14 | 20,72 | 28,31 | 4,57 | 28,68 |
| 60 | 12,38 | 17,67 | 21,57 | 29,55 | 4,33 | 29,86 |
| 61 | 13,10 | 18,12 | 22,36 | 30,68 | 4,02 | 30,95 |
| 62 | 13,81 | 18,47 | 23,06 | 31,71 | 3,64 | 31,92 |
| 63 | 14,48 | 18,72 | 23,67 | 32,60 | 3,20 | 32,76 |
| 64 | 15,11 | 18,86 | 24,17 | 33,34 | 2,71 | 33,45 |
| 65 | 15,67 | 18,89 | 24,55 | 33,91 | 2,17 | 33,98 |
| 66 | 16,17 | 18,80 | 24,80 | 34,28 | 1,59 | 34,32 |
| 67 | 16,57 | 18,59 | 24,90 | 34,45 | 0,98 | 34,46 |
| 68 | 16,86 | 18,25 | 24,85 | 34,39 | 0,36 | 34,39 |
| 69 | 17,03 | 17,78 | 24,62 | 34,08 | -0,25 | 34,08 |
| 70 | 17,06 | 17,19 | 24,21 | 33,50 | -0,84 | 33,51 |
| 71 | 16,92 | 16,46 | 23,60 | 32,64 | -1,40 | 32,66 |
| 72 | 16,59 | 15,59 | 22,77 | 31,46 | -1,89 | 31,52 |
| 73 | 16,06 | 14,60 | 21,71 | 29,95 | -2,31 | 30,04 |
| 74 | 15,30 | 13,46 | 20,38 | 28,08 | -2,62 | 28,20 |
| 75 | 14,27 | 12,18 | 18,76 | 25,82 | -2,80 | 25,97 |
| 76 | 12,95 | 10,73 | 16,82 | 23,10 | -2,84 | 23,28 |
| 77 | 11,28 | 9,11 | 14,50 | 19,89 | -2,70 | 20,07 |
| 78 | 9,22 | 7,28 | 11,75 | 16,08 | -2,37 | 16,26 |
| 79 | 6,70 | 5,19 | 8,47 | 11,59 | -1,82 | 11,73 |
| 80 | 3,64 | 2,77 | 4,58 | 6,25 | -1,03 | 6,34 |
| 81 | -0,05 | -0,04 | 0,06 | -0,08 | 0,01 | 0,09 |

Таблица А.6 – Скорости схватов $P_2$, $P_1$

| | VxP2 | VyP2 | VP2 | VxP1 | VyP1 | VP1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -0,22 | 0,08 | 0,24 | -0,14 | -0,02 | 0,14 |
| 2 | -18,61 | 6,78 | 19,80 | -11,78 | -1,69 | 11,90 |
| 3 | -40,07 | 14,50 | 42,61 | -25,39 | -4,16 | 25,73 |
| 4 | -64,45 | 22,82 | 68,37 | -40,80 | -8,11 | 41,60 |
| 5 | -90,78 | 30,91 | 95,90 | -57,26 | -14,19 | 58,99 |
| 6 | -117,13 | 37,54 | 123,00 | -73,37 | -22,70 | 76,80 |
| 7 | -140,81 | 41,44 | 146,79 | -87,27 | -33,28 | 93,40 |
| 8 | -159,23 | 41,78 | 164,62 | -97,19 | -44,91 | 107,06 |
| 9 | -170,66 | 38,60 | 174,97 | -102,08 | -56,18 | 116,52 |
| 10 | -174,79 | 32,73 | 177,82 | -101,97 | -65,73 | 121,32 |
| 11 | -172,49 | 25,41 | 174,35 | -97,70 | -72,71 | 121,78 |
| 12 | -165,35 | 17,83 | 166,31 | -90,57 | -76,82 | 118,77 |
| 13 | -155,07 | 10,83 | 155,45 | -81,88 | -78,27 | 113,27 |
| 14 | -143,15 | 4,87 | 143,23 | -72,68 | -77,51 | 106,25 |
| 15 | -130,69 | 0,09 | 130,69 | -63,66 | -75,10 | 98,45 |
| 16 | -118,45 | -3,57 | 118,50 | -55,27 | -71,58 | 90,43 |
| 17 | -106,85 | -6,24 | 107,03 | -47,70 | -67,37 | 82,55 |
| 18 | -96,12 | -8,11 | 96,46 | -41,03 | -62,81 | 75,02 |
| 19 | -86,33 | -9,33 | 86,84 | -35,21 | -58,14 | 67,97 |
| 20 | -77,48 | -10,05 | 78,13 | -30,18 | -53,50 | 61,42 |
| 21 | -69,49 | -10,39 | 70,26 | -25,86 | -48,99 | 55,40 |
| 22 | -62,29 | -10,44 | 63,15 | -22,14 | -44,67 | 49,86 |
| 23 | -55,77 | -10,27 | 56,71 | -18,96 | -40,56 | 44,77 |
| 24 | -49,85 | -9,93 | 50,83 | -16,21 | -36,66 | 40,09 |
| 25 | -44,43 | -9,46 | 45,43 | -13,84 | -32,97 | 35,76 |
| 26 | -39,44 | -8,89 | 40,43 | -11,78 | -29,47 | 31,74 |
| 27 | -34,80 | -8,24 | 35,76 | -9,99 | -26,13 | 27,98 |
| 28 | -30,44 | -7,51 | 31,35 | -8,41 | -22,94 | 24,43 |
| 29 | -26,30 | -6,73 | 27,14 | -7,02 | -19,86 | 21,07 |
| 30 | -22,32 | -5,89 | 23,08 | -5,76 | -16,88 | 17,84 |
| 31 | -18,46 | -5,00 | 19,13 | -4,63 | -13,97 | 14,72 |
| 32 | -14,68 | -4,06 | 15,23 | -3,59 | -11,10 | 11,67 |
| 33 | -10,93 | -3,08 | 11,36 | -2,62 | -8,26 | 8,67 |
| 34 | -7,19 | -2,05 | 7,47 | -1,69 | -5,43 | 5,68 |
| 35 | -3,42 | -0,98 | 3,56 | -0,80 | -2,58 | 2,70 |
| 36 | 0,40 | 0,12 | 0,42 | 0,09 | 0,30 | 0,32 |
| 37 | 4,29 | 1,24 | 4,47 | 0,99 | 3,22 | 3,37 |
| 38 | 8,26 | 2,39 | 8,60 | 1,92 | 6,19 | 6,48 |
| 39 | 12,32 | 3,54 | 12,82 | 2,89 | 9,21 | 9,65 |
| 40 | 16,47 | 4,68 | 17,12 | 3,93 | 12,29 | 12,90 |

Продолжение таблица А.6

| | VxP2 | VyP2 | VP2 | VxP1 | VyP1 | VP1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | 20,72 | 5,80 | 21,51 | 5,04 | 15,40 | 16,21 |
| 42 | 25,04 | 6,88 | 25,97 | 6,25 | 18,56 | 19,58 |
| 43 | 29,44 | 7,90 | 30,48 | 7,56 | 21,72 | 23,00 |
| 44 | 33,89 | 8,84 | 35,03 | 8,99 | 24,88 | 26,46 |
| 45 | 38,38 | 9,68 | 39,58 | 10,55 | 28,00 | 29,92 |
| 46 | 42,87 | 10,40 | 44,11 | 12,23 | 31,04 | 33,37 |
| 47 | 47,35 | 10,97 | 48,60 | 14,04 | 33,98 | 36,77 |
| 48 | 51,78 | 11,39 | 53,02 | 15,97 | 36,77 | 40,09 |
| 49 | 56,14 | 11,64 | 57,33 | 18,02 | 39,38 | 43,31 |
| 50 | 60,41 | 11,70 | 61,53 | 20,17 | 41,77 | 46,39 |
| 51 | 64,55 | 11,57 | 65,58 | 22,41 | 43,92 | 49,30 |
| 52 | 68,54 | 11,25 | 69,46 | 24,72 | 45,78 | 52,03 |
| 53 | 72,37 | 10,72 | 73,16 | 27,07 | 47,36 | 54,55 |
| 54 | 76,00 | 10,00 | 76,66 | 29,46 | 48,61 | 56,84 |
| 55 | 79,42 | 9,08 | 79,94 | 31,84 | 49,55 | 58,90 |
| 56 | 82,61 | 7,98 | 82,99 | 34,21 | 50,14 | 60,70 |
| 57 | 85,53 | 6,69 | 85,80 | 36,53 | 50,40 | 62,24 |
| 58 | 88,18 | 5,24 | 88,34 | 38,78 | 50,31 | 63,52 |
| 59 | 90,53 | 3,64 | 90,60 | 40,93 | 49,89 | 64,53 |
| 60 | 92,55 | 1,90 | 92,57 | 42,95 | 49,14 | 65,27 |
| 61 | 94,22 | 0,04 | 94,22 | 44,83 | 48,07 | 65,73 |
| 62 | 95,51 | -1,91 | 95,53 | 46,53 | 46,69 | 65,92 |
| 63 | 96,40 | -3,92 | 96,48 | 48,03 | 45,02 | 65,83 |
| 64 | 96,87 | -5,97 | 97,05 | 49,30 | 43,07 | 65,46 |
| 65 | 96,88 | -8,02 | 97,22 | 50,31 | 40,87 | 64,81 |
| 66 | 96,42 | -10,04 | 96,94 | 51,03 | 38,43 | 63,88 |
| 67 | 95,44 | -11,99 | 96,19 | 51,44 | 35,78 | 62,66 |
| 68 | 93,92 | -13,81 | 94,93 | 51,50 | 32,96 | 61,14 |
| 69 | 91,84 | -15,47 | 93,14 | 51,19 | 29,99 | 59,33 |
| 70 | 89,16 | -16,92 | 90,75 | 50,47 | 26,92 | 57,21 |
| 71 | 85,85 | -18,09 | 87,74 | 49,32 | 23,79 | 54,75 |
| 72 | 81,87 | -18,93 | 84,03 | 47,68 | 20,64 | 51,96 |
| 73 | 77,16 | -19,39 | 79,56 | 45,53 | 17,53 | 48,79 |
| 74 | 71,68 | -19,39 | 74,26 | 42,80 | 14,52 | 45,20 |
| 75 | 65,34 | -18,87 | 68,01 | 39,46 | 11,66 | 41,14 |
| 76 | 58,03 | -17,76 | 60,69 | 35,41 | 9,02 | 36,54 |
| 77 | 49,62 | -15,96 | 52,12 | 30,55 | 6,65 | 31,27 |
| 78 | 39,90 | -13,39 | 42,09 | 24,77 | 4,60 | 25,19 |
| 79 | 28,60 | -9,93 | 30,28 | 17,88 | 2,86 | 18,11 |
| 80 | 15,38 | -5,48 | 16,33 | 9,67 | 1,38 | 9,77 |
| 81 | -0,21 | 0,08 | 0,22 | -0,13 | -0,02 | 0,13 |

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Максимкулиев Қуаныш Құрманғазыұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07106 – Инженерная механика
(шифр и наименование ОП)

Тема: «Синтез ведущей цепи и кинематическая модель исполнительного механизма V класса манипулятора с двумя схватами»

Максимкулиев Қуаныш выполнил дипломную работу по теме «Синтез ведущей цепи и кинематическая модель исполнительного механизма V класса манипулятора с двумя схватами». В рамках данной темы изложил особенности работы антропоморфных манипуляторов, показывает, что при одновременном выполнении повторяющихся стереотипных операций целесообразно использовать манипуляторы с несколькими схватами.

Объектом исследования является параллельный манипулятор V класса с двумя схватами. Изложена процедура структурного образования данного манипулятора, приведены его линейные параметры.

Выполнен кинематический синтез ведущей цепи с кривошипным ведущим звеном для исследуемого манипулятора по коэффициенту изменения средней скорости выходных звеньев.

Созданы компьютерные кинематические модели манипулятора с двумя схватами с использованием программ Linkage MDS и Autodesk Fusion 360.

Анимация и интерактивная работа с созданной моделью, а также анализ численных результатов исследования кинематики, показывают работоспособность манипулятора и достоверность полученных результатов синтеза.

При выполнении дипломной работы студент Максимкулиев Қуаныш проявлял большую ответственность и трудолюбие, показал достаточно высокий уровень подготовленности. Выполненная дипломная работа по содержанию и объему соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным работам. Считаю, что студент Максимкулиев Қуаныш может быть допущен к защите дипломной работы.

**Научный руководитель**
ассоц. профессор, к.т.н., доцент
( должность, уч. степень, звание)

Измамбетов М.Б.
(подпись)

«05» июня 2023 г.

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

# РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Максимкулиева Қуаныш Құрмангазыұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07106 – Инженерная механика
(шифр и наименование ОП)

На тему: Синтез ведущей цепи и кинематическая модель исполнительного механизма V класса манипулятора с двумя схватами

Выполнено:
а) графическая часть на 35 листах
б) пояснительная записка на 38 страницах

## ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованной литературы из 13 наменований и приложения.

Во введении выполнен обзор литературы, изложены тенденция развития исполнительных механизмов манипуляционных устройств, актуальность темы, цели и задачи работы.

В первом разделе рассмотрены общие понятия и сведения о манипуляторах, о группах Ассура, которые составляют основу кинематических цепей параллельных манипуляторов. Изложены виды систем координат, используемых для описания кинематики манипуляторов.

Во втором разделе рассматривались особенности работы антропоморфных манипуляторов, структура и линейные параметры параллельного манипулятора V класса с двумя схватами. Изложена процедура синтеза ведущей цепи с кривошипным входным звеном для указанного манипулятора.

В третьем разделе разрабатывается кинематическая модель параллельного манипулятора V класса с двумя схватами в программных комплексах Linkage MDS и Autodesk Fusion 360. В результате получены твердотельная 3D модель исследуемого манипулятора. Анимация и интерактивная работа с созданной моделью показывают работоспособность манипулятора и достоверность полученных результатов синтеза.

В заключение следует отметить, что данная дипломная работа по содержанию и объему соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным работам.

## ОЦЕНКА РАБОТЫ

Считаю, что дипломную работу можно оценить на «отлично» ( 96% ), а ее автор Максимкулиев Қуаныш Құрмангазыұлы заслуживает присвоения квалификации бакалавра по образовательной программе 6В07106 – Инженерная механика.

**Рецензент**
доцент кафедры «Механика» Казахского национального университета им Аль-Фараби
кандидат технических наук

Джамалов Н.К.
(подпись)

« 05 » 06 2023 г.

КОЛТАҢБАСЫН РАСТАЙМЫН
ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

StrikePlagiarism.com | SATBAYEV UNIVERSITY

Дата отчета 6/5/2023
Дата редактирования —

Отчет не был оценен

## Метаданные

Название
**Диплом Максимкулиев К.К..docx**

Автор
**Максимкулиев К.К.**

Научный руководитель / Эксперт
**Мырзабай Измамбетов**

Подразделение
**ИЭиМ**

## Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

| | | |
|---|---|---|
| Замена букв | В | 7 |
| Интервалы | A→ | 0 |
| Микропробелы | | 0 |
| Белые знаки | | 0 |
| Парафразы (SmartMarks) | a | 5 |

## Объем найденных подобий

Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.

| КП1 | КП2 | КЦ |
|---|---|---|
| 1.22% (1.22%) | 1.22% (1.22%) | 1.20% (1.20%) |
| **25** | **6741** | **49265** |
| Длина фразы для коэффициента подобия 2 | Количество слов | Количество символов |

## Подобия по списку источников

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("криптоцитаты").

### 10 самых длинных фраз

Цвет текста

| ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР | НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ) | КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ) | |
|---|---|---|---|
| 1 | https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BF%D0%B0_%D0%90%D1%81%D1%81%D1%83%D1%80%D0%B0 | 82 | 1.22 % |

### из базы данных RefBooks (0.00 %)

| ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР | НАЗВАНИЕ | КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ) |
|---|---|---|

### из домашней базы данных (0.00 %)

| ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР | НАЗВАНИЕ | КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ) |
|---|---|---|

из программы обмена базами данных (0.00 %)

| ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР | НАЗВАНИЕ | КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ) |
|---|---|---|

из интернета (1.22 %)

| ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР | ИСТОЧНИК URL | КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ) | |
|---|---|---|---|
| 1 | https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%BF%D0%B0_%D0%90%D1%81%D1%81%D1%83%D1%80%D0%B0 | 82 (1) | 1.22 % |

**Список принятых фрагментов** (нет принятых фрагментов)

| ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР | СОДЕРЖАНИЕ | КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ) |
|---|---|---|