

## РАЗРАБОТКА В ИПИ-СРЕДЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДВИЖНОГО ПОРТАЛА И ПРИВОДА ДЛЯ ЕГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ПЛАЗМАРЕЖУЩЕМ СТАНКЕ С ЧПУ

Шестаков Д.Ю., Большакова А.Н.,  
Научный руководитель доктор технических наук Лимаренко Г.Н.  
*Сибирский Федеральный Университет*

### ВВЕДЕНИЕ

Главной целью работы является разработка конструкции подвижного портала и станины в плазмарежущем станке с ЧПУ. При разработке основополагающими принципами конструкций элементов являлись: унификация комплектующих станка, внедрение собственных разработок (волновой реечный модуль), простота конструкции, оптимальное соотношение цены и качества.

### 1. Расчетная схема конструкции.

Станиной называется базовая деталь станка, на которой установлены и закреплены все его детали и узлы и относительно которой ориентируются и перемещаются подвижные детали и механизмы.

Требованием, предъявляемым к станинам, является длительное обеспечение правильного взаимного положения узлов и частей, смонтированных на ней, при всех предусмотренных режимах работы станка в нормальных эксплуатационных условиях. Базирующими поверхностями станины являются ее направляющие, на которые устанавливаются детали и узлы станка.

Основными составляющими конструкции подвижного портала в плазмарежущем станке с ЧПУ являются профили 1, роликовая рейка 2, направляющая 3 (рисунки 1,2).

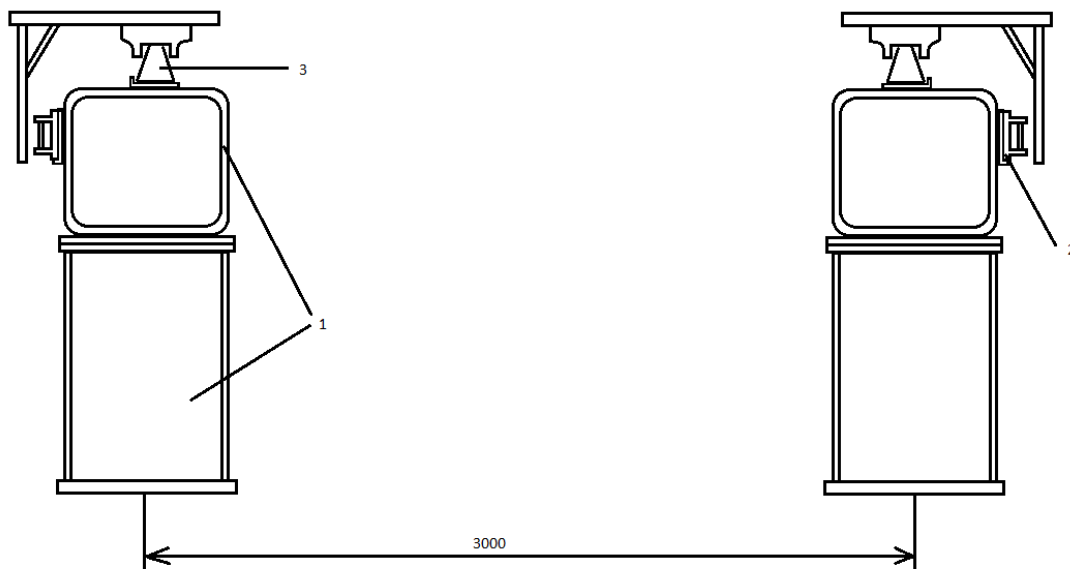


Рисунок 1-конструкция станины.

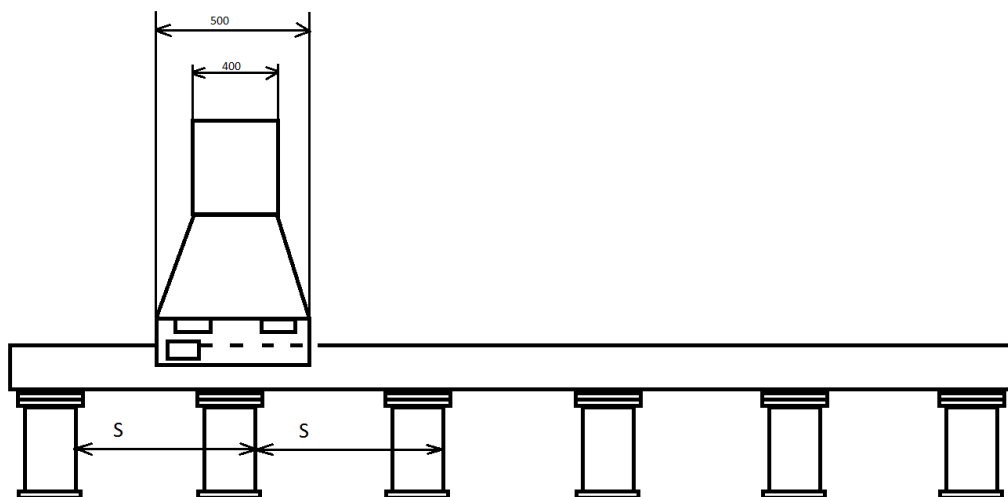


Рисунок 2-конструкция станины. Вид сбоку.

Портал плазморежущего станка служит для поддержания и перемещения рабочего органа станка (плазмотрона) относительно обрабатываемой заготовки. Состоит из несущей прямоугольной трубы с направляющими (ГОСТ 30245-94, габаритные размеры 100 x 100 мм, толщиной в 5 мм) и перемещаемого по ней суппорта. Суппорт перемещается относительно станины с помощью волнового реечного привода. Балка снабжена дополнительными ребрами жесткости, которые увеличиваются по прочности и служат для поддержания кабельного оборудования.

#### 1.1 Наименование, число и назначение основных составных частей

Портал подвижный ПЛРС 2.6 03.00.000	1.
Суппорт вертикальный ПЛРС 2.6 04.00.000	1.
Привод портала ПЛРС 2.6 05.00.000	1.
Привод суппорта по порталу ПЛРС 2.6 06.00.000	1.

#### 1.2 Основные параметры портала (значения приближенные)

- длина несущей балки – 3000 мм;
- сечение несущей трубы (ширина, высота, толщина)– 100,100,5 мм;
- масса суппорта – 50 кг;
- масса портала – 300 кг;
- ход суппорта – 2000 мм;
- габаритные размеры (длина, ширина, высота) –3000, 500, 250 мм.

Конструкция портала станка показана на рисунке 3.

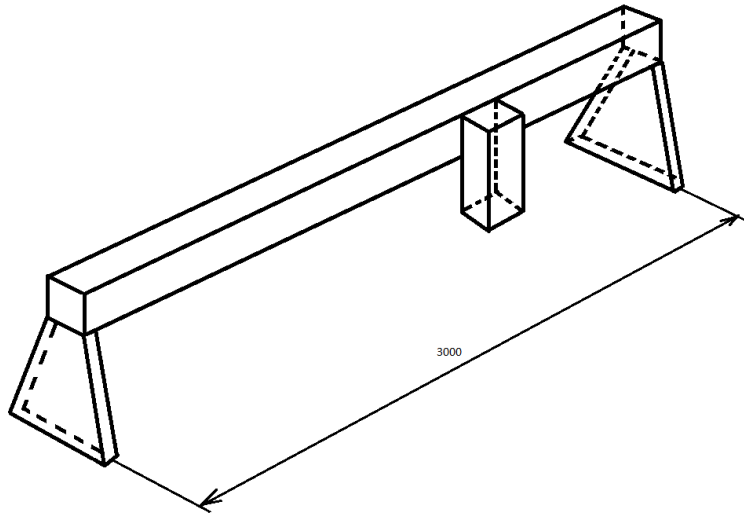


Рисунок 3-портал.

## 2. Проектирование несущей системы.

Станина содержит две балки с направляющими и две рельсы (по одной на каждую сторону) для перемещения портала по координате X. Балки установлены на взаимосвязанных стойках, обеспечивающих требуемую жесткость и точность обрабатываемого изделия. На рисунке 4 показана модель половины станины.

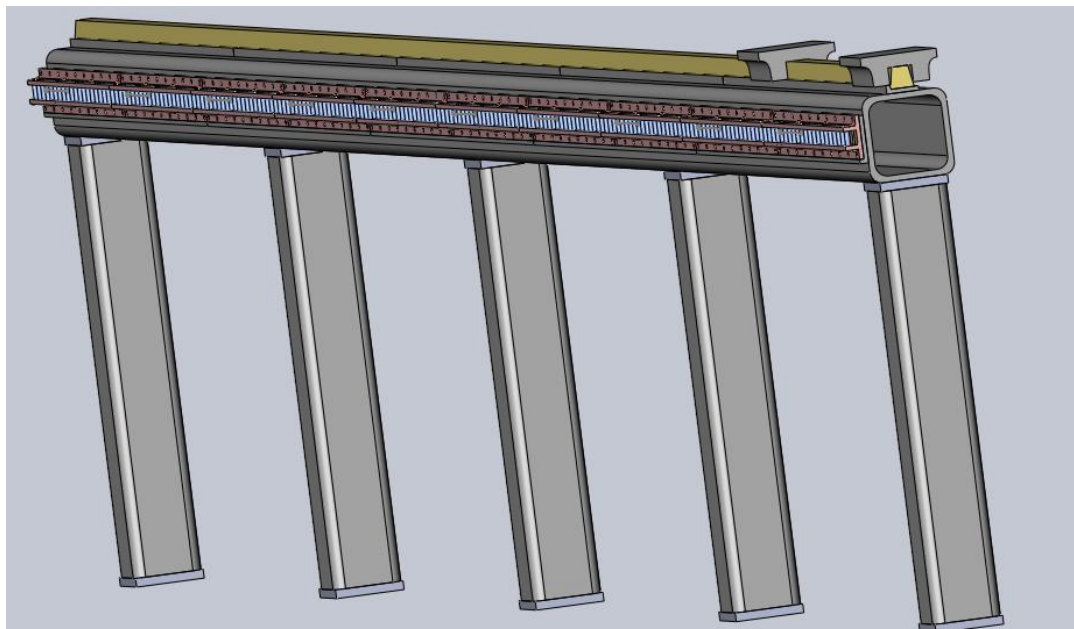


Рисунок 4 –Модель половины станины

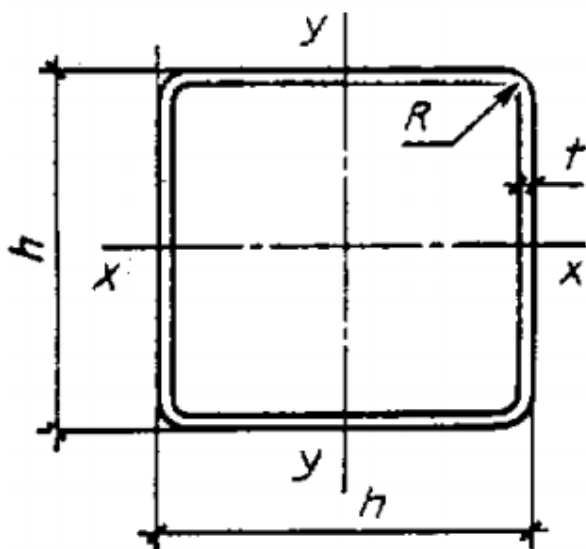


Рисунок 5 –Профиль станины

Подбираем профиль квадратный, длиной 7 м, толщиной 5 мм и  $h=100$  мм.

Подбор рельсовых направляющих качения

На рисунке 6 показана конструкция каретки:

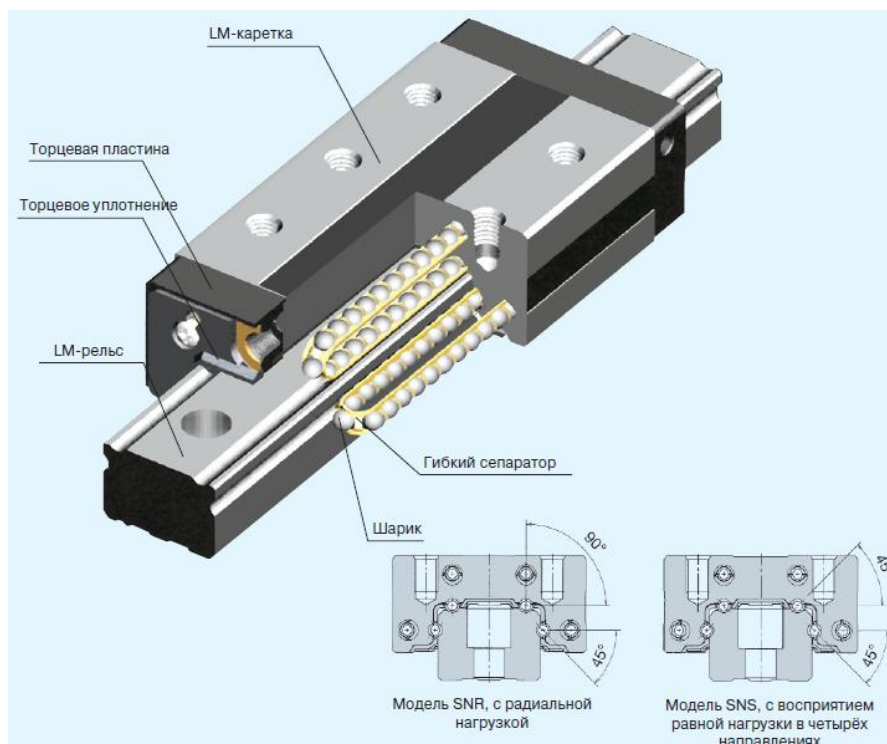
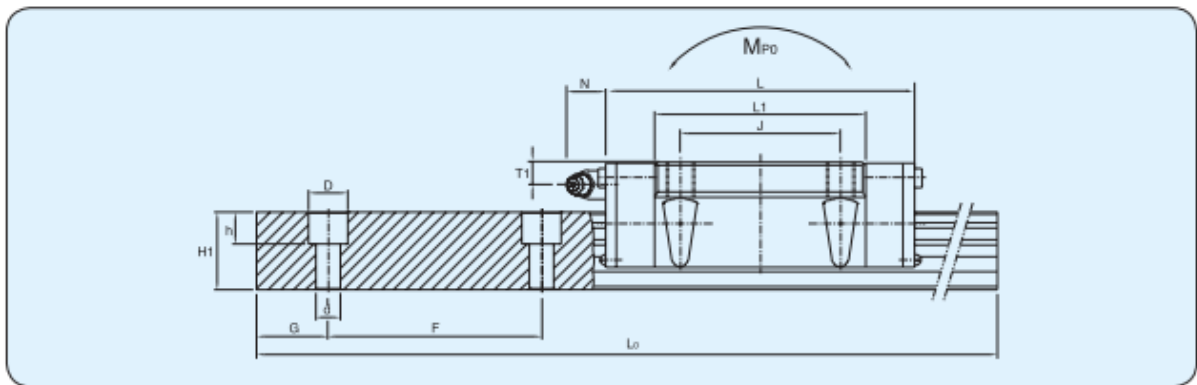


Рисунок 6- Рельс и каретка

Выбор типоразмера направляющей: учитывая, что рабочая площадка нагружена силами в двух направлениях (максимальные усилия на каретке  $R3+R4=1481\text{ N}$  – обратная и  $R5+R6=416.66\text{ N}$  – (поперечная), принимаем модель SBS южнокорейской фирмы SBS Linear Co.,Ltd, номер модели SBG 20 FL (<http://www.ctdr.ru/var/db/shared/pdf/sbc/general-katalog-sbc.pdf>) с основой номинальной нагрузкой

$C=14.210\text{ H}$ . Эта каретка способна воспринимать обратную радиальную нагрузку  $C_L=0,64C=9094.4\text{ H}$ , и поперечную нагрузку  $C_T=0,47C=6678.7\text{ H}$ .

Размеры каретки и рельса приведены на рисунке 7.



Единицы: мм

Размеры рельса						Нагрузочная способность					Вес	
Ширина, W1	Высота, H1	Шаг, F	Монтажное отверстие d x D x h	G	Максимальная длина рельса Lmax	Динамическая C (N)	Стационарная C0 (N)	Стационарный момент (кгс • м)			Каретка (кг)	Рельс (кг/м)
								MRO	MPO	MyO		
15	15	60	4,5 x 7,5 x 5,3	20	3,000	8,330	13,426	7	5	5	0,18	1,45
20	17,5	60	6 x 9,5 x 8,5	20	4,000	14,210	25,088	22	18	18	0,42	2,20
20	17,5	60	6 x 9,5 x 8,5	20	4,000	16,905	36,554	29	32	32	0,54	2,20
23	21,8	60	7 x 11 x 9	20	4,000	20,972	39,200	36	32	31	0,62	3,10
23	21,8	60	7 x 11 x 9	20	4,000	24,667	48,069	44	50	49	0,78	3,10
28	25	80	9 x 14 x 12	20	4000	29,204	53,802	60	50	49	1,10	4,45
28	25	80	9 x 14 x 12	20	4000	35,300	67,904	75	81	80	1,44	4,45

Рисунок 7 - Рельсовая направляющая и каретка

Проверка работоспособности направляющих на заданную долговечность

Срок службы направляющей, км

$$1.727 \cdot 10^4$$

где  $f_H = 0,8$  - коэффициент твердости направляющих (HRC=55),

$f_T = 1$  - температура рабочей зоны менее 100 град.,

$f_C = 0,81$  - коэффициент контакта (2 каретки на одной направляющей),

$f_W = 1,5$  - коэффициент нагрузки ( $V_{max} < 15$  м/мин, нет ударов),

$P_C = 87,5$  кгс.

Срок службы направляющей, час

$$1.028 \cdot 10^4$$

$s = 1$  м. величина хода каретки,

$n_1 = 2$  частота возвратно-поступательных перемещений каретки в мин.

Цена каретки FL 20 равна \$54,38 = 1700 руб./шт. Стоимость 4 шт. = 6800 руб.

Цена 1 м. рельса = \$101,97 . Стоимость глухих отверстий = 15 %. 14 м. готового рельса = \$ 1641,72 = 49251,51 руб.

Для обеспечения точности работы всех узлов станка необходимо сохранение неизменности формы станины, что возможно при выполнении следующих условий:

- Станина должна обладать жесткостью, при которой ее деформации под действием усилий в процессе работы станка не выходили бы за пределы, соответствующие допускам на неточность обрабатываемых на станке деталей. Для этого был проведен анализ на нагрузки участка станины.

Расчетная схема изображена на рисунке 8.

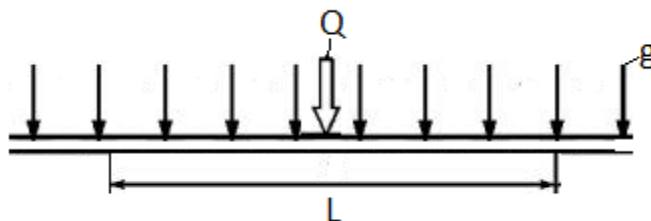


Рисунок 8 – Схема нагрузки

Где  $L$ - длина балки между опорами,  $Q$ - точечная нагрузка портала на балку,  $g$ - равномерное действие веса конструкции (собственный вес).

По результатам прогиб составляет 0,013 мм, что является допустимым.

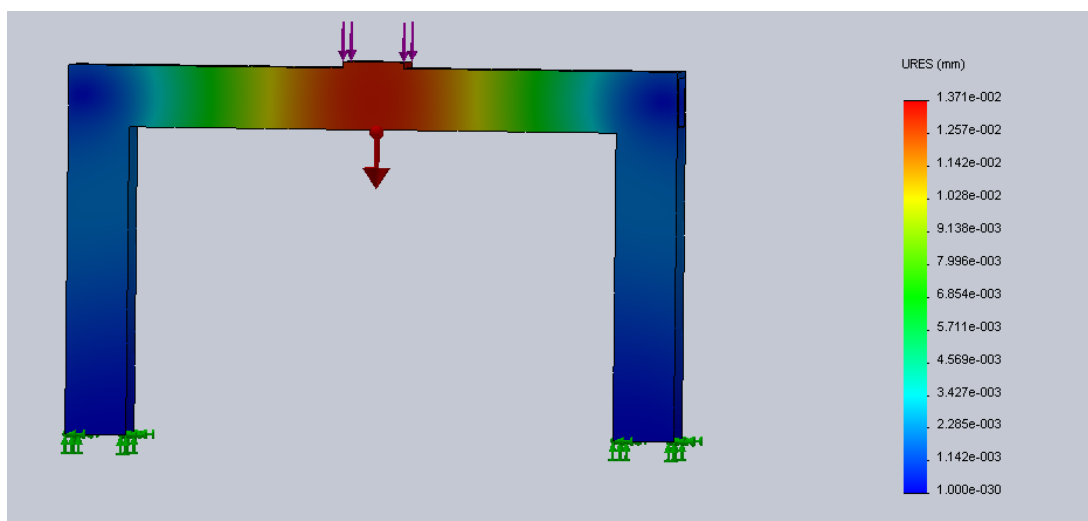


Рисунок 9 – конечно-элементная модель участка станины.

- Материал станины должен быть термически обработан, и при этом исключаются внутренние напряжения, вызывающие изменение ее формы. После предварительной механической обработки станины подвергают старению, в процессе которого происходит снятие внутренних напряжений.

- Станина должна быть виброустойчива, так как в противном случае будут иметь место ухудшение класса чистоты обрабатываемой поверхности и снижение стойкости режущего инструмента.

### 3. Определение тягового усилия.

Для определения необходимого тягового усилия рассмотрим рисунок 10.

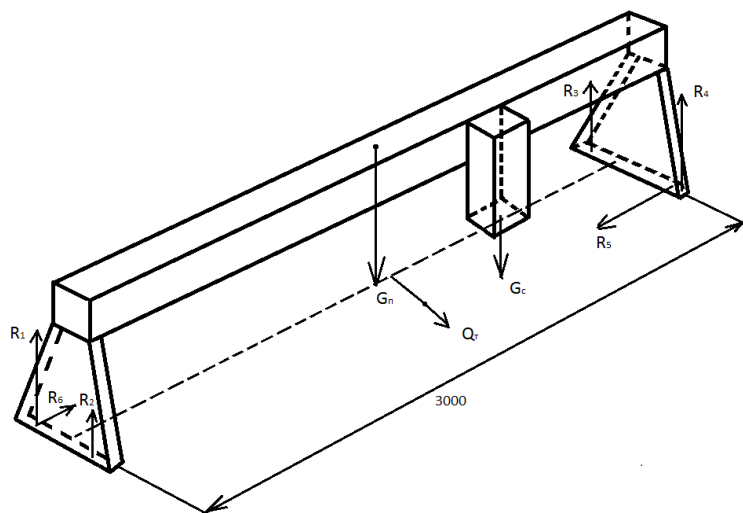


Рисунок 10 – Расчетная схема.

На котором изображены: реакции различных составных частей суппорта – R1..R6. Тяговое усилие Qt. Вес суппорта и портала Gc= 500Н, Gп= 3000Н,  $\eta = 0.06$  коэф. трения, длина портала l=3 м,  $y=l/2=1/5$ м, расстояние (макс) движения суппорта d=2.6м, расстояние от геометрического центра портала до его опор a=b=0.3 м, расстояние от центра (геометрического) портала до суппорта c=0.6 м. Где, Qt- тяговое усилие,

Запишем систему уравнений для определения тягового усилия.

$$(R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6)\eta - Qt = 0$$

$$R6 - R5 = 0$$

$$R1 + R2 + R3 + R4 = Gn + Gc$$

$$(R3 + R4)L = Gc * d + Gn * e$$

$$-(R3 + R1)\eta * L - Qt * e - R5 * b * \eta = 0$$

$$R1 - R2 - R3 + R4 = 0$$

Подставляя имеющиеся значения, Qt=230 Н.

Тем самым, получив тяговое усилие, необходимое для перемещения портала.

Определим тяговое усилие на рейке по формуле:

$$Fm = Dp * bp * \left(\frac{22 * 60}{340}\right)^2 = 1461 \text{ Н}$$

Где Dp- диаметр ролика, равный 5.83 мм, bp = 16.62 мм.

Необходимо подобрать шаговый двигатель на ВРМ, мощность определяется по формуле:

$$T = \frac{Fm * Pp * 10^{-3}}{2 * \pi * \eta} = 54.8 \text{ кг * см}$$

Где Pp =20 мм, шаг между роликами.

Подбираем шаговый двигатель, Двухфазные гибридные шаговые двигатели эконом - класса серии 85CSTH.





Рисунок 11 – Шаговый двигатель 85CSTH.

источник [http://www.akeon.ru/stepdrvch/products\\_eco\\_step85h.html](http://www.akeon.ru/stepdrvch/products_eco_step85h.html).

#### 4. Встройка волнового реечного привода.

ВРП представляет собой многокулачковый механизм с промежуточными звеньями в виде клиньев-толкателей, взаимодействующими с поступательно перемещаемым выходным звеном – рейкой с зубьями или роликами.

ВРМ - мехатронное устройство, состоящее из преобразователя вращательного движения приводного вала в поступательное движение клиновых толкателей; роликовой рейки; шагового электродвигателя, соединенного с приводным валом через безлюфтовую муфту; и системы электропривода и управления. На рисунке 12 приведена принципиальная конструкция передачи.

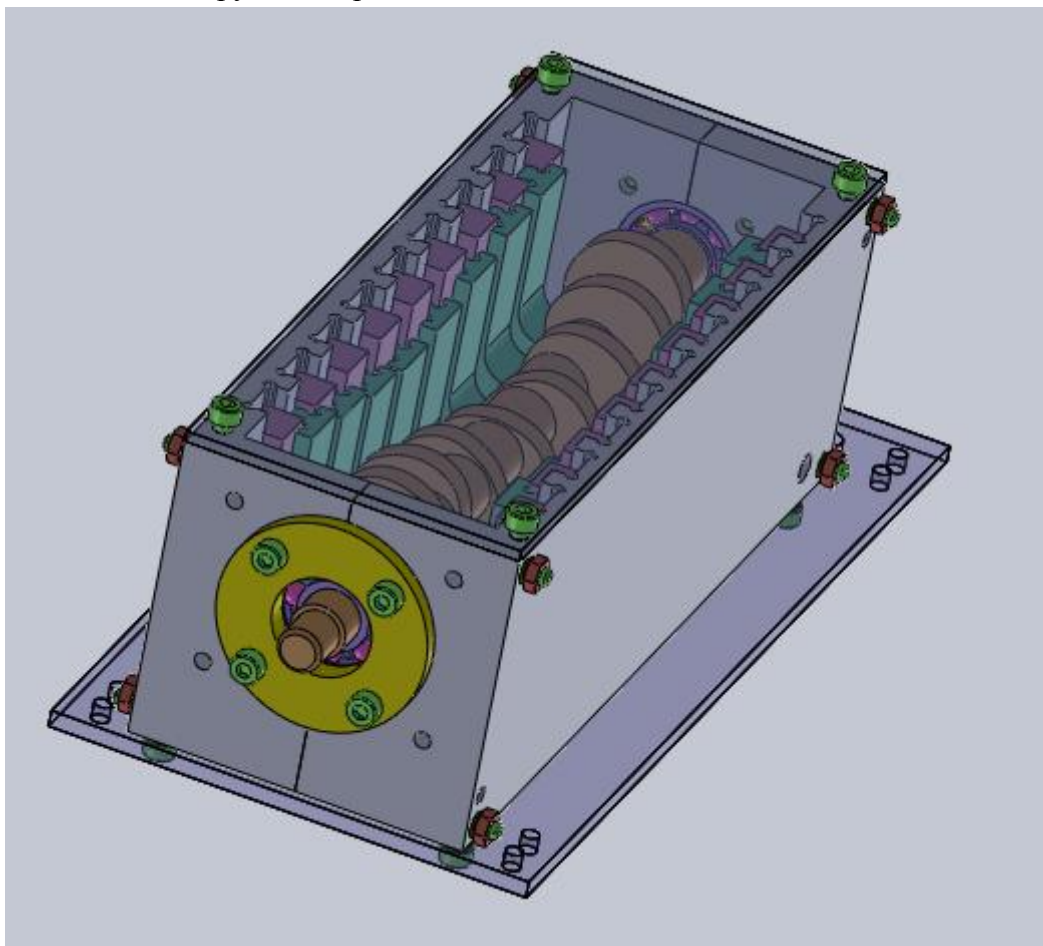


Рисунок 12 - Привод поступательного перемещения.

Преобразователь модуля, состоит из корпуса, кулачкового вала на подшипниковых опорах, толкателей, направляющих толкателей, опор качения поступательного перемещения, рельсовых направляющих опор, несущей конструкции, безлюфтовой муфты, промежуточного стакана и электродвигателя. На несущей конструкции устанавливается рейка с вращающимися роликами. При повороте ротора электродвигателя кулачковый вал перемещает толкатели в направляющих, а клинья толкателей, взаимодействуя с роликами рейки, перемещают корпус модуля в сборе со всеми элементами конструкции вдоль рельсовых направляющих.

ВРП потенциально обладает хорошими технико-экономическими характеристиками и имеет ряд преимуществ перед другими передачами поступательного перемещения:

- неограниченной величиной перемещения и высокой линейной скоростью сопоставим с характеристиками шариковой винтовой передачи (ШВП);
- высокой редукцией в сравнении с зубчатой реечной передачей (ЗРП);
- многопарностью контакта в реечном зацеплении, способствующей повышению плавности поступательного движения в сравнении с ЗРП;
- Конструктивной простотой механизма выбора зазоров в реечном зацеплении, исключающая применение сдвоенных кинематических цепей;
- возможностью создания ВРП с частичной герметизацией передаточного механизма, позволяющая создавать вводы движения в изолированное, в том числе агрессивное пространство;
- ВРП является импортозамещающим продуктом.

В приведенной конструкции шаг роликов в рейке равен 20, при этом технические характеристики модулей:

Диаметр ролика рейки – 5,75;

Тяговое усилие- 1400;

Скорость поступательного перемещения – 20;

Расчетный КПД – 87;

Расчетная мощность приводн. двигателя – 355;

Расчетный максимальный крутящий момент – 5,1.

## **5. Новизна принятых решений.**

При разработке станка мы руководствовались следующими основными принципами: унификация узлов и материалов, максимальное упрощение конструкции, повышение надежности и эргономичности, улучшение точностных характеристик станка.

Новизна конструкции осей станка заключается в следующем:

5.1 Использование в конструкции станка унифицированного квадратного профиля.

Преимущества:

- Уменьшение общей стоимости станка
- Уменьшение массы
- Надежность конструкции
- Легкость в эксплуатации и ремонте
- Упрощение конструкции
- Эргономичность

5.2 Использование унифицированного волнового реечного механизма для перемещения по осям станка.

Преимущества:

- Отсутствие редуктора
- Высокая точность позиционирования, что является одной из основных характеристик высокоточного станка с ЧПУ.
- Упрощение конструкции
- Внедрение наших разработок (нет зависимости от стороннего производителя)
- Высокая скорость перемещения портала по оси X (до 25 м/мин)

### **Заключение**

Результатом проделанной работы является разработка и построение 3D модели конструкции станины и подвижного портала плазмарежущего станка. Расчет и подбор комплектующих, а именно: рельсовая направляющая и каретка, волновой реечный механизм с роликовой рейкой, шаговый двигатель.