

УДК 681.527.2

Высокоточный привод линейного перемещения

*Цельсов Н.Ю., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Системы управления летательными аппаратами»*

*Научный руководитель: Перминова Е.А., к. т. н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Консультант: Буцев А.А., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru*

В качестве электродвигателя используется шаговый двигатель. Данные типы двигателей уже давно и успешно применяются в самых разнообразных устройствах.

Шаговый двигатель имеет целый ряд преимуществ по сравнению с другими синхронными электромашинами:

- угол поворота ротора определяется числом импульсов, которые поданы на двигатель;
- двигатель обеспечивает полный момент в режиме остановки (если обмотки запитаны);
- прецизионное позиционирование и повторяемость;
- возможность быстрого старта/остановки/реверсирования;
- высокая надежность, связанная с отсутствием щеток;
- однозначная зависимость положения от входных импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи;
- возможность получения очень низких скоростей вращения для нагрузки, присоединенной непосредственно к валу двигателя без промежуточного редуктора, что в свою очередь снижает массогабаритные характеристики привода, уменьшает количество звеньев кинематической цепи и снижает себестоимость конечного изделия.

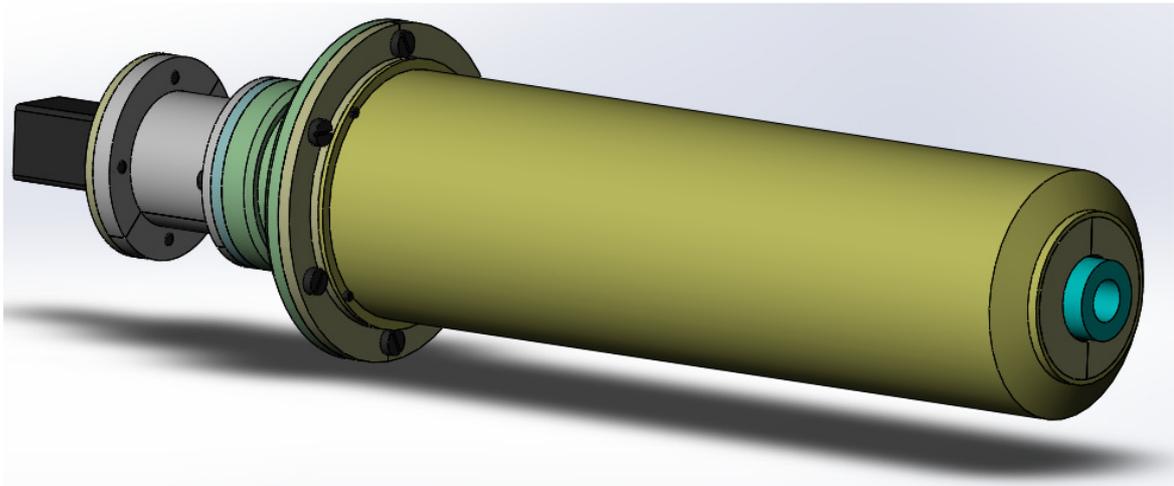


Рис. 1. Привод линейного перемещения

Однако, шаговым двигателям свойственен нежелательный эффект, называемый резонансом. Эффект проявляется в виде внезапного падения момента на некоторых скоростях. Это может привести к пропуску шагов и потере синхронности. Эффект проявляется в том случае, если частота шагов совпадает с собственной резонансной частотой системы ротор двигателя - нагрузка.

Существуют методы борьбы с резонансом на уровне алгоритма работы драйвера. Если резонансная частота точно известна, то ее можно проходить, меняя режим работы. Однако самой эффективной мерой для борьбы с резонансом является применение микрошагового режима. В микрошаговом режиме с шагом $1/32$ от основного при каждом микрошаге сообщается всего около 0.1% от энергии полного шага. Поэтому в микрошаговом режиме явление резонанса практически незаметно.

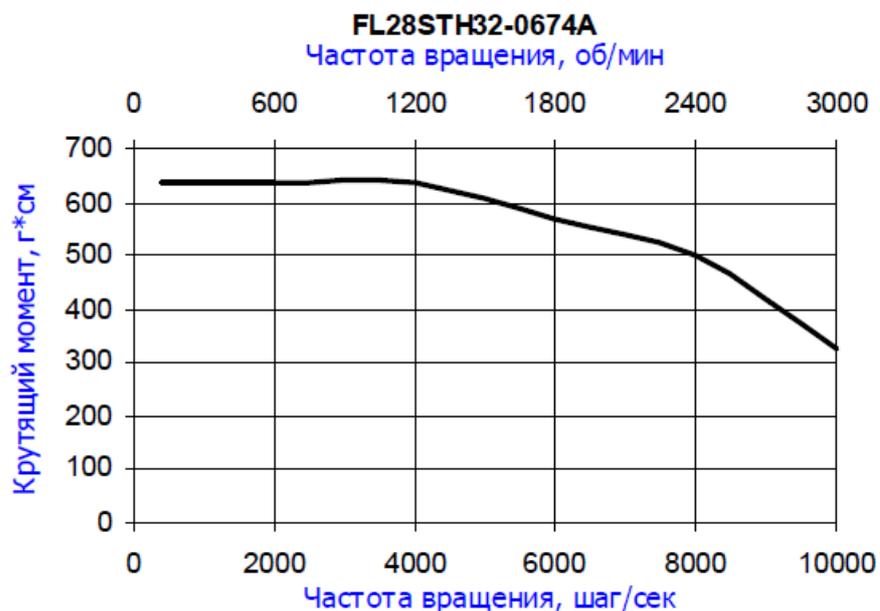


Рис. 2. Характеристика крутящего момента FL28STH32

Используемая в приводе модель шагового двигателя FL28STH32 (рис. 2) интересна стабильной зависимостью крутящего момента от частоты вращения вала в области рабочих частот (300 – 1000 об/мин). Это обеспечивает широкое варьирование линейной скорости выходного штока.

Из перечисленных свойств видно, что достоинства шаговых двигателей весьма многочисленны, а влияние недостатков можно компенсировать, правильно подобрав режим работы двигателя.

В качестве механизма для преобразования вращательного движения в поступательное всё большее распространение получают планетарные роликовинтовые механизмы (ПРВМ). Роликовинтовые передачи обладают такими преимуществами как высокий КПД и точность позиционирования, и при равных габаритах превосходят другие типы передач по грузоподъемности и осевой жесткости.

Использование различных схем роликовинтовых передач существенно расширяет диапазон получаемых передаточных функций, что в свою очередь позволяет получать различные сочетания динамических и скоростных характеристик привода. Это увеличивает область применения актуаторов и позволяет отвечать самым высоким и различным техническим требованиям.

В современных актуаторах используется два типа роликовинтовых передач: с опорной гайкой и с опорным винтом. Опорная гайка означает отсутствие осевого смещения роликов относительно гайки, опорный винт - отсутствие осевого смещения роликов относительно винта.

Если требуется получить высокую скорость перемещения выходного звена актуатора, более оптимально использовать передачи с опорной гайкой, так как такие передачи позволяют получить большие значения передаточного числа (функции).

Для ПРВМ с диаметром винта меньше 25мм рекомендуется использовать конструкцию с опорной цельной гайкой и короткими роликами (рис. 3). Эта конструкция была изобретена Страндгреном в 1950 г. и серийно выпускается рядом иностранных компаний.

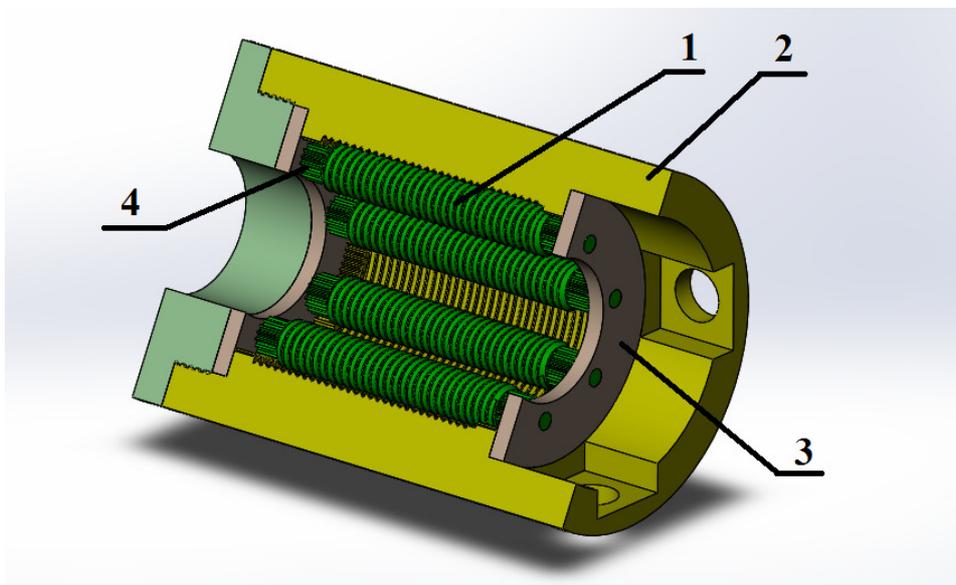


Рис. 3. Планетарный роликовинтовой механизм

Ролики 1 находятся между винтом (не показан) и гайкой 2, на которых нарезана многозаходная треугольная резьба, профиль которой образован прямыми линиями. Длина резьбовой части роликов равна длине резьбовой части гайки. Чтобы ролики обкатывались по гайке без проскальзывания, а также для обеспечения параллельности осей винта и роликов на концах роликов нарезаны зубчатые венцы 4, входящие в зацепление с зубчатым венцом гайки. Цапфы роликов установлены в сепараторы 3, которые обеспечивают постоянство равномерного распределения роликов по окружности.

При работе ПРВМ, винт вращается, ролики совершают планетарное движение, а гайка вместе с роликами перемещается вдоль оси винта. При этом все ролики, установленные в двух сепараторах, вращаются вокруг оси винта с угловой скоростью переносного движения, и каждый ролик вращается вокруг собственной оси с угловой скоростью относительного движения. Углы подъема резьбы роликов и гайки выполнены равными, что предотвращает осевое перемещение роликов относительно гайки. Для превалирующего в передаче трения качения, отношение числа заходов резьбы гайки и роликов равно отношению средних диаметров их резьб.

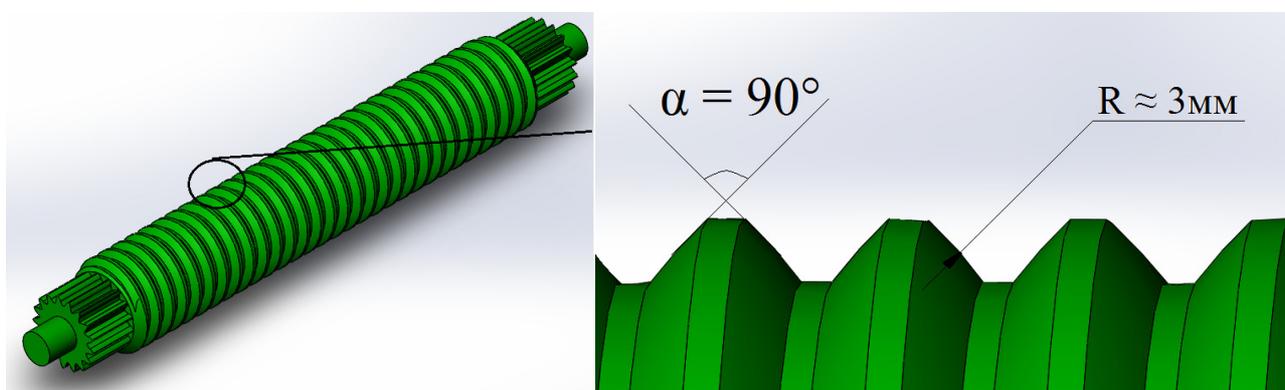


Рис. 4. Профиль резьбы ролика

Профиль витков роликов (рис. 4) выпуклый и очерчен дугой окружности, номинальный радиус которой $R \approx 3\text{мм}$, а угол между касательными к сторонам профиля $\alpha = 90^\circ$. Такой профиль витков роликов нужен для того, чтобы исключить кромочные контакты с сопрягаемыми витками винта и гайки. В противном случае это ведёт к уменьшению площади контакта резьбы винта, роликов и внутренней поверхности гайки, следовательно, к резкому падению нагрузочной способности и осевой жёсткости. Также такой профиль позволяет компенсировать трение скольжения, повышая КПД.

Для увеличения нагрузочной способности ПРВМ количество роликов в передаче должно быть максимально большим. Количество роликов определяется из условия соседства, при этом минимальный зазор между соседними роликами должен составлять $\Delta = 2...4\text{мм}$. Исходя из малых габаритов и условия зазора $\Delta = 3\text{мм}$, в приводе используются 7 роликов.

Для того чтобы количество роликов можно было выбрать любым от трех до максимально возможного, и их угловое положение относительно винта и гайки было

произвольным, число заходов винта и гайки должно быть равным, а направления их резьб – одинаковым.

Для резьбовых деталей ПРВМ (винта, роликов и гайки) размеры и поля допусков должны выбираться так, чтобы рабочая осевая сила более равномерно распределялась между всеми роликами механизма и всеми сопрягаемыми витками резьбовых деталей. Поэтому комплект роликов для ПРВМ подбирают так, чтобы средние диаметры резьбы всех роликов в комплекте укладывались в узкий диапазон размеров (отклонение не более 1 ... 3 мкм).

ПРВМ имеет очень высокое линейное ускорение выходной гайки, что позволяет обеспечить быстрый старт, резкую остановку и реверсирование. Тем самым существенно улучшаются динамические свойства системы. Высокая надежность ПРВМ достигается за счет преобладания трения качения в сопряжениях витков резьбы винта, роликов и гайки. Также, благодаря применению для смазывания пластичных смазок, ПРВМ отличается простотой монтажа гайки и легкостью ухода, что сокращает затраты на производство всего механизма.

Основная проблема при создании высококачественных роликовинтовых передач – противоречие параметров КПД механизма и его точности. Для обеспечения высокого КПД рекомендуют производить приработку конструкции сразу после её изготовления.

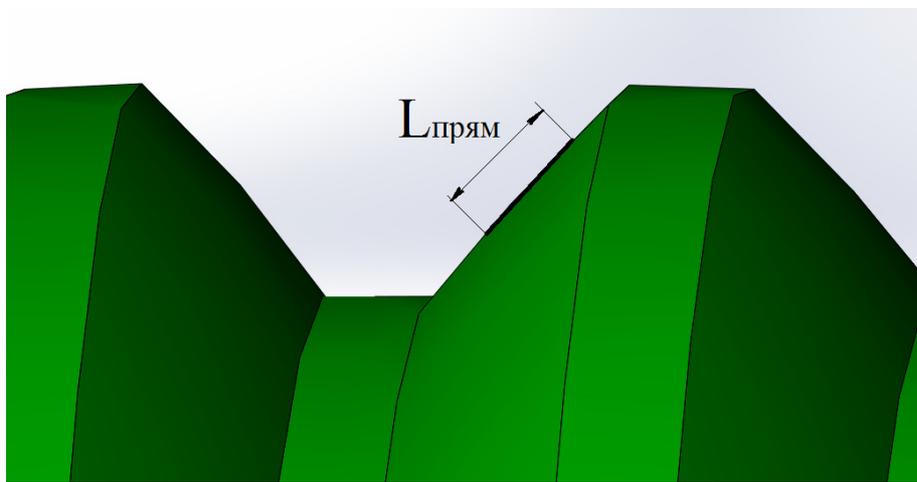


Рис. 5. Прямолинейный участок на резьбе ролика

Вследствие этой процедуры из-за износа резьбовых поверхностей на профиле резьбы роликов появляются прямолинейные участки $L_{\text{прям}}$ (рис. 5), расположенные примерно посередине профиля. В дальнейшем предполагается, что контакт резьбы ролика с остальными резьбовыми деталями будет производиться именно по этому участку. Это

приводит к выравниванию распределения рабочей осевой силы между сопрягаемыми витками резьбы, и, как следствие, к повышению кинематической точности без утраты высокого КПД.

По большинству основных параметров ПРВМ превосходит другие механические передачи преобразования вращательного движения в поступательное, а по остальным не уступает им. Это дает основание использовать роликовинтовую передачу в силовом приводе линейного перемещения, требующем высокоточного позиционирования.

Для компенсации осевых и радиальных нагрузок на вал двигателя винт передачи устанавливается в блок подшипников, состоящий из двух конических роликовых однорядных подшипников (рис. 6).

Существенным преимуществом конических роликовых подшипников является стабильность положения тел качения. Конический профиль роликов не только обеспечивает качение без проскальзывания по всей длине, но также действие так называемой «посадочной силы», прижимающей ролики к направляющему борту внутреннего кольца. Посадочная сила образуется в результате различных значений углов наклона у дорожек качения колец. Она не дает возможность отклониться от вершины осей вращения роликов, выравнивая ролики в дорожке качения и создавая контакт с направляющим бортом внутреннего кольца. Фактически речь идет о самовыравнивании роликов, что увеличивает долговечность подшипников.

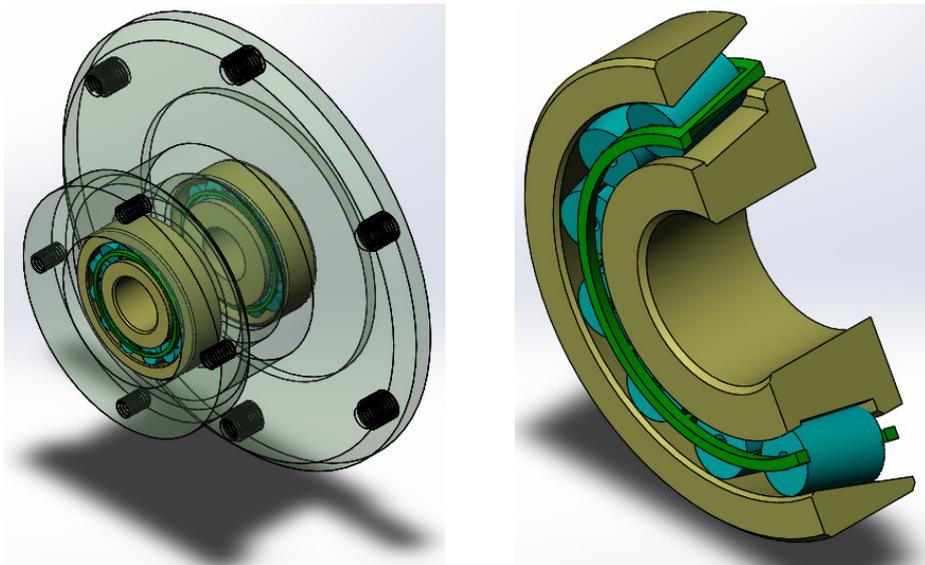


Рис. 6. Блок подшипников

Наличие наклонных дорожек качения позволяет коническому роликоподшипнику воспринимать одновременно радиальную и осевую нагрузки.

Высокая грузоподъемность конического роликоподшипника обеспечивается большой протяженностью поверхности соприкосновения ролика с дорожкой качения. Это, в совокупности со способностью к восприятию одновременно радиальных и осевых нагрузок в любой комбинации позволяет не использовать многорядную установку или отдельный упорный подшипник, существенно упрощая процесс сборки и уменьшая габариты.

Для сопряжения вала двигателя с винтом передачи используется безлюфтовая дисковая (мембранная) муфта (рис. 7).

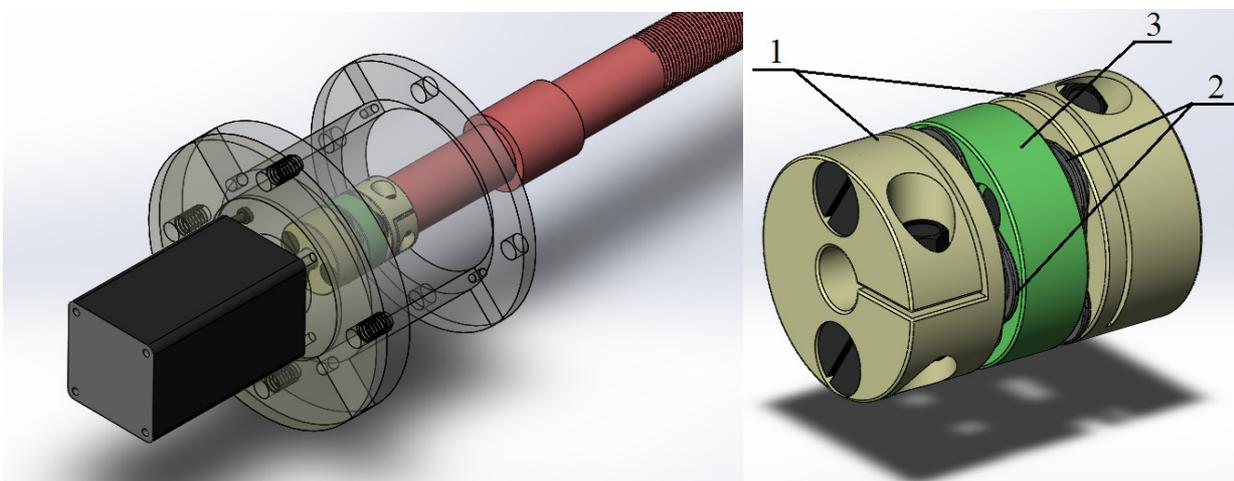


Рис. 7. Безлюфтовая дисковая муфта SD

Две полумуфты 1 соединяются через гибкие металлические пластины 2 – мембраны, к которым прикреплены цилиндрические пальцы. Один конец пальца крепится к полумуфте или промежуточному диску 3, а другой перемещается в противоположном отверстии при изгибе мембраны. Таким образом, обеспечивается угловая гибкость и осевая подвижность муфты при высокой жесткости на кручение.

Дисковая муфта имеет малый момент инерции, что позволяет снизить нагрузку на вал двигателя и сократить массу конечного продукта, также компенсирует перекос валов и не нуждается в обслуживании. Эта высокоточная муфта имеет практически бесконечный срок службы.

В качестве направляющих выходного штока при его возвратно-поступательном движении используются 6 шариковых подшипников (рис. 8), разделённых на 2 группы, по 3 подшипника в каждой, расположенных под 120° относительно оси привода.

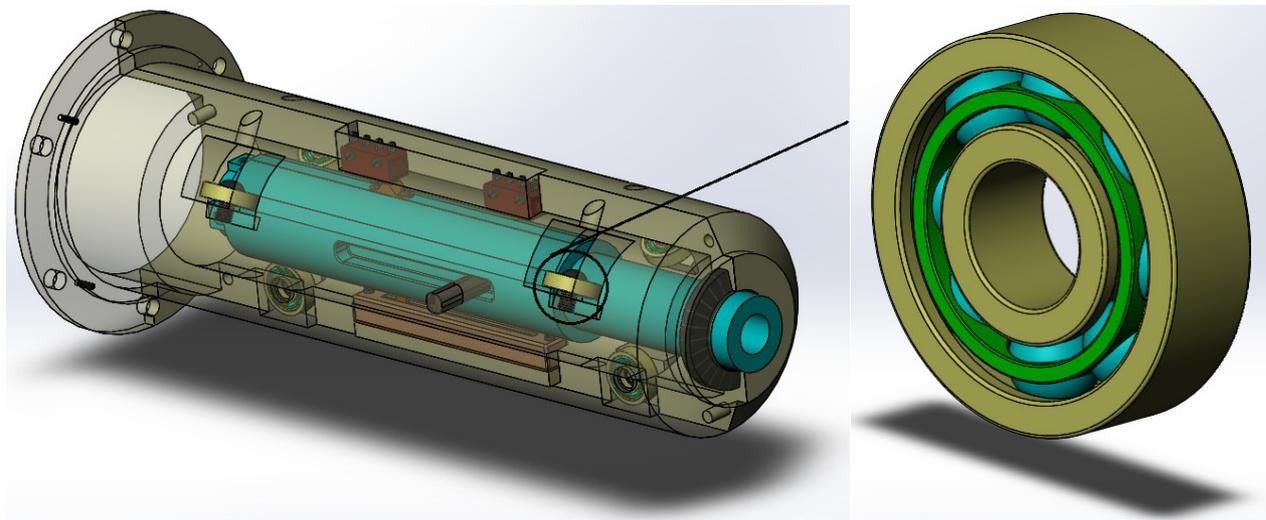


Рис. 8. Направляющие для выходного штока

Подобный выбор направляющих обеспечит минимальные потери на трение скольжения, следовательно, повысит КПД механизма.

Для ограничения максимального хода штока используются два концевых микропереключателя П1М10 – 1Т.

Для предохранения механизма привода от загрязнения в месте выхода штока установлен сальник.

Конструкция привода линейных перемещений представлена на рисунке 9.

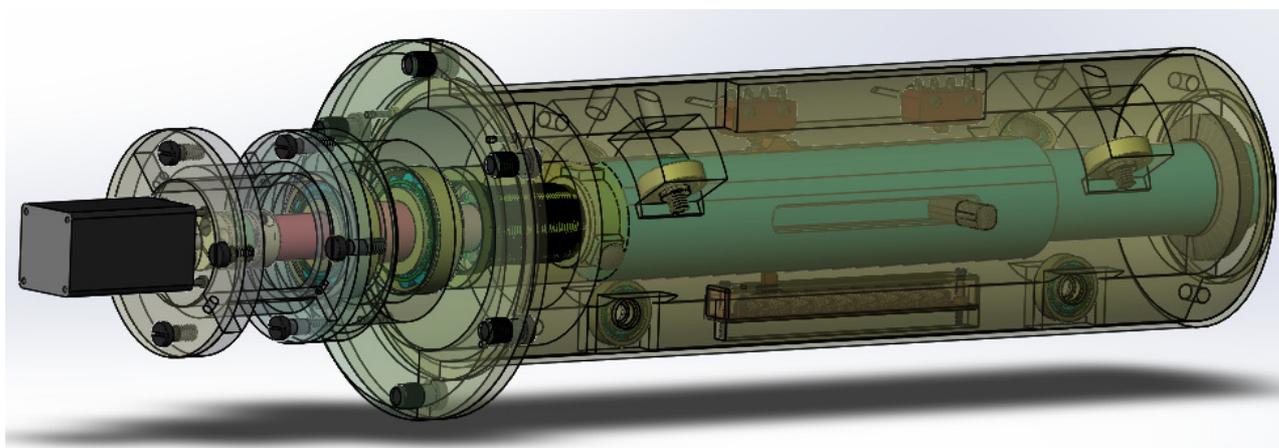


Рис. 9. Конструкция привода линейного перемещения

Основные технические характеристики привода линейного перемещения:

напряжение питания фазы шагового двигателя составляет 3.8 В

максимальный ход штока привода составляет 75 мм

номинальная скорость перемещения штока составляет 50 мм /с

максимальная скорость перемещения штока составляет 80 мм/с

номинальная осевая сила составляет 2000 Н

максимальная осевая сила составляет 21200 Н

масса привода не более 8 кг

Список литературы

1. Блинов Д.С. Планетарные роликовинтовые механизмы: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 222 с.
2. Козырев В.В. Конструкции роликовинтовых передач и методика их проектирования: учеб. пособие. Владимир: Владим. гос. ун-т, 2004. 100 с.
3. Емельянов А.В., Шилин А.Н. Шаговые двигатели: учебн. пособие. Волгоград: ВолгГТУ, 2005. 48 с.