

Контроль хода гидроцилиндров в гидравлических механизмах подъема установочных агрегатов

© Б.М. Новожилов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Для регламентированной работы гидравлических механизмов подъема установочных агрегатов ракетно-космических комплексов необходимо обеспечить синхронное перемещение штоков силовых гидроцилиндров, действующих параллельно при выполнении рабочих операций. Поэтому задача разработки систем синхронизации, обеспечивающих согласованность не только скоростей перемещения, но и взаимного расположения штоков гидроцилиндров, является актуальной. В статье представлен новый подход к ее решению, основанный на использовании двух косвенных методов определения рабочего хода силовых гидроцилиндров по результатам измерений угловых или линейных координат силовых элементов механизма. Первый метод основан на измерении угловых координат силовых элементов подъемного механизма с помощью датчиков угловых перемещений (угловых энкодеров), второй — на измерении хода дополнительного звена переменной длины с помощью магнитострикционных и тросовых датчиков линейного положения. Приведены краткое описание устройства и принципа действия датчиков, а также рекомендации по построению измерительных преобразователей в составе механизма подъема установочного агрегата. Предлагаемый новый подход к решению задачи контроля хода силовых гидроцилиндров в подъемных механизмах может быть использован при разработке перспективных установочных агрегатов для ракет-носителей тяжелого и сверхтяжелого классов.

Ключевые слова: *установочное оборудование, гидравлический механизм подъема, системы синхронизации, гидроцилиндр, измерение угловых координат, измерение линейных координат*

Введение. Силовой гидравлический привод широко применяется в механических агрегатах технологического оборудования ракетно-космических комплексов (РКК). Особенно часто он используется в подъемно-установочных агрегатах (ПУА) и транспортно-установочных агрегатах (ТУА), выполняющих операции транспортировки, подъема и установки ракет-носителей на стартовый стол. В состав этих агрегатов входит гидравлический механизм подъема с одним или несколькими силовыми гидроцилиндрами, которые обеспечивают угловое движение стрелы агрегата с уложенной на ней ракетой-носителем (РН). В ходе выполнения подъема или опускания РН положение штока гидроцилиндра контролируется как по сигналам конечных и путевых выключателей, так и визуально. Однако такого контроля бывает недостаточно, особенно если в подъемном механизме параллельно работают два гидроцилиндра или более. В этом случае при выполнении рабочих операций штоки параллельно работающих гидроцилиндров должны двигаться синхронно, что обеспечивает

оптимальный режим его работы даже в условиях возможной асимметрии нагружения цилиндров, вызванной, например, действием ветровой нагрузки. Реализация синхронизации гидродвигателей (гидроцилиндров и других гидравлических исполнительных устройств) достигается применением систем синхронизации на основе дроссельного и объемного регулирования [1].

Современные установочные агрегаты оснащены синхронными системами с регулированием расхода рабочей жидкости, поступающей в гидроцилиндры подъема, и с контролем давления в магистралях гидропривода. Такие системы, базирующиеся на делении потока рабочей жидкости, обеспечивают синхронизацию по скорости и по ускорению перемещения штоков цилиндров. Однако в реальных условиях эксплуатации синхронная работа гидроцилиндров нарушается под влиянием таких факторов, как утечки рабочей жидкости в насосах, гидроаппаратуре и самих гидроцилиндрах, возникающие вследствие варьирования значений давления и температуры, изменение рабочей нагрузки на исполнительных органах агрегата, а также сил трения различного характера в гидравлических и механических элементах системы и др. В этих условиях необходимую точность синхронизации можно получить лишь с помощью синфазных систем, обеспечивающих согласованность не только скоростей перемещения, но и взаимного положения штоков гидроцилиндров.

При разработке механических агрегатов наземного оборудования ракетно-космической техники, в том числе установочного оборудования, создание синфазных систем синхронизации параллельно работающих гидроцилиндров является актуальной задачей. Ее решение приобретает особое значение в связи с тем, что становится актуальным создание РН тяжелого и сверхтяжелого классов, а значит, возникает необходимость применения в подъемных механизмах установочных агрегатов нескольких силовых гидроцилиндров с большими рабочими ходами [2]. Одновременно требуется решить задачу непрерывного контроля хода гидроцилиндров при построении автоматической системы управления техническим процессом АСУ ТП комплекса управления операциями подготовки РН к пуску.

Цель данной работы — поиск новых технических решений по совершенствованию синфазных систем синхронизации параллельно работающих гидроцилиндров в гидравлических механизмах подъема установочных агрегатов.

Анализ задачи построения синфазных систем синхронизации параллельно работающих гидроцилиндров в гидроприводах машин. Решение данной задачи связано с созданием систем управления на основе измерения таких параметров положения, как линейные и угловые перемещения рабочих органов с помощью датчиков [3].

Реализовать это для подъемных механизмов установочных агрегатов довольно сложно вследствие следующих факторов:

1) гидроцилиндры механизма подъема, имеющие длину рабочего хода примерно несколько метров, являются, как правило, телескопическими;

2) элементы несущей конструкции установочного агрегата имеют конечную жесткость, что затрудняет выполнение грузоподъемных операций при асимметричном нагружении механизма подъема;

3) механизмы подъема должны выполнять штатные операции в диапазоне температур окружающей среды $-40...+40$ °С при наличии осадков, что накладывает ограничения на применение электронных средств измерений хода гидроцилиндров;

4) большие нагрузки, действующие на штоки гидроцилиндров, обуславливают высокие рабочие давления цилиндров и, следовательно, большие значения диаметров поршней, штоков и толщин стенок цилиндров.

К перечисленным факторам следует добавить недопустимость вмешательства в конструкцию силовых гидроцилиндров при установке на агрегат элементов измерительной системы.

Кинематическая схема простейшего гидравлического механизма подъема представляет собой шарнирный треугольник с подвижными звеньями, одно из которых, представленное гидроцилиндром, имеет переменную длину. Два варианта компоновки механизма подъема, различающихся расположением гидроцилиндра, приведены на рис. 1. Шарниры треугольника соответствуют узлам крепления гидроцилиндра и шарниру стрелы. При выполнении операции подъема звено AB шарнирного треугольника изменяет свою длину, а треугольник — свою геометрию, вследствие чего звено стрелы поворачивается на угол $\varphi = 90^\circ$, звено цилиндра — на угол α , определяемый геометрией треугольника, и одновременно изменяется угол γ между звеньями цилиндра и стрелы.

Если обозначить $AB/AB_{нач} \rightarrow l_{гц}$, $OA/AB_{нач} \rightarrow l_p$ и $OB/AB_{нач} \rightarrow l_c$, ($AB_{нач}$ — начальная длина гидроцилиндра $L_{гц}$, $l_{гц}$ — текущая длина гидроцилиндра; l_p — длина участка рамы агрегата; l_c — длина участка стрелы агрегата), то взаимосвязь указанных величин для обоих вариантов механизма подъема можно описать следующей системой уравнений:

$$l_{гц}^2 = l_c^2 + l_p^2 - 2l_cl_p \cos(\beta + \varphi), \quad (1)$$

$$l_p^2 = l_{гц}^2 + l_c^2 - 2l_{гц}l_c \cos \gamma, \quad (2)$$

$$l^2 = 1 + l_{гц}^2 - 2l_{гц} \cos \alpha, \quad (3)$$

где $l = 2 l_c \sin(\varphi/2)$ — текущая безразмерная длина хорды окружности, описываемой точкой B (отрезок BB' на рис. 1); $\beta = \beta_1 + \beta_2$.

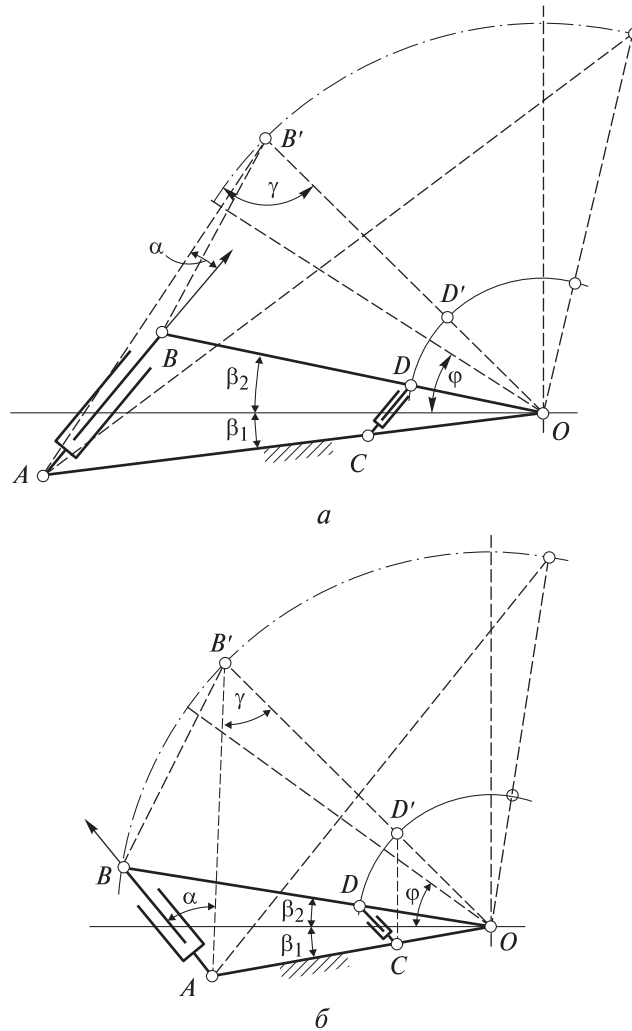


Рис. 1. Кинематические схемы гидравлического механизма подъема варианта 1 (а) и варианта 2 (б):
 AB — обозначение гидроцилиндра; OB — обозначение стрелы; OA — обозначение рамы агрегата

Относительную длину хода гидроцилиндра l_x можно определить как $l_x = l_{гц} - 1$, а действительное значение хода — как $l_x \cdot L_{гц}$.

Анализ уравнений (1)–(3) показывает, что при известных параметрах l_p и l_c можно определить текущие значения длины гидроцилиндра $l_{гц}$ и углов α и γ шарнирного треугольника в функции угла поворота стрелы φ . С этой целью были выполнены соответствующие расчеты для обоих вариантов шарнирного треугольника.

За базовый вариант была выбрана схема, показанная на рис. 1, *a*, которая соответствует конструкции гидравлического механизма подъема агрегата для установки РКН среднего и тяжелого класса на пусковой стол [4]. В относительных размерах шарнирный треугольник ориентировочно имеет следующую конфигурацию:

$$AB : OB : OA = 1 : 1,57 : 1,94$$

и угол $\beta = 0,54$ рад.

Результаты расчета приведены на рис. 2, из которого следует, что для приведенных параметров механизма полный ход гидроцилиндра приблизительно вдвое превышает его начальную длину, т. е. в такой конфигурации механизма подъема гидроцилиндр должен быть трехступенчатым. При начальной длине гидроцилиндра около 3 м и более его ход может достигать 6 м. Измерение такого перемещения в особых условиях эксплуатации установочного оборудования РК — сложная техническая задача.

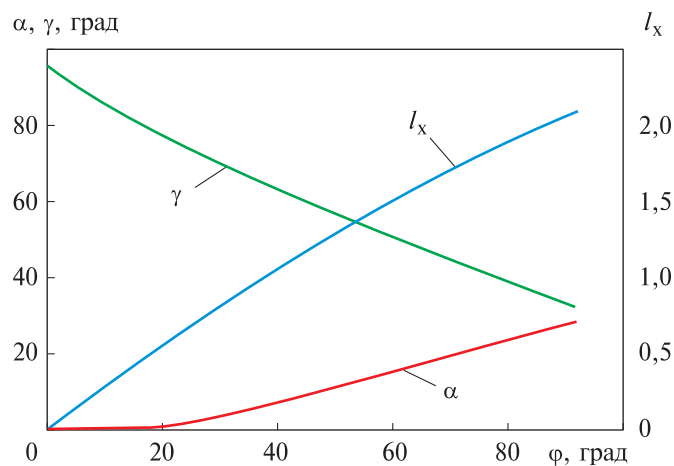


Рис. 2. Изменение хода гидроцилиндра l_x и угловых координат α, γ, ϕ шарниров для механизма варианта 1

Как следует из анализа кривых на рис. 2, вместо прямого измерения значения хода гидроцилиндра можно определять его косвенно, по результатам измерения углов ϕ, α и γ . Современные программируемые контроллеры выполняют подобный перерасчет с высокой точностью по уравнениям (1)–(3). Выбор измеряемых угловых координат зависит от конструкции механизма. Для варианта 1 механизма подъема (см. рис. 2) наиболее подходящими для измерения переменными являются углы ϕ и γ .

Результаты расчетов для варианта 2 подъемного механизма представлены на рис. 3.

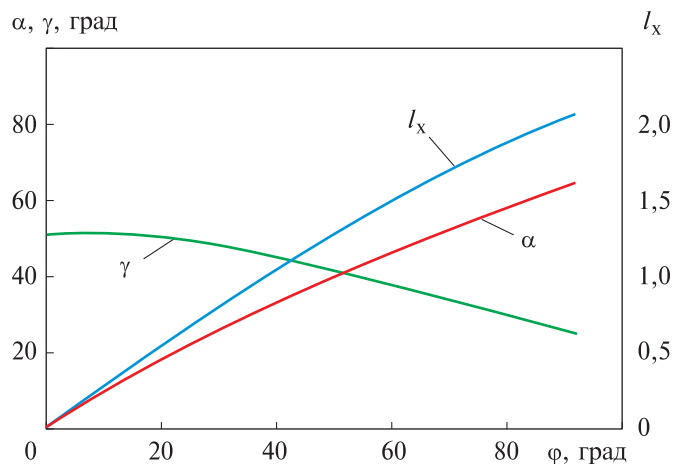


Рис. 3. Изменение хода гидроцилиндра l_x и угловых координат α , γ , φ шарниров для механизма варианта 2

Для варианта 2 конструктивные соотношения звеньев шарнирного треугольника выбраны так, чтобы обеспечить характеристики механизма (начальная длина цилиндра, плечо поворота стрелы и др.), схожие с характеристиками у варианта 1. Была получена следующая конфигурация шарнирного треугольника:

$$AB : OB : OA = 1 : 1,55 : 1,96$$

и угол $\beta = 0,53$ рад.

Кривая хода гидроцилиндра, приведенная на рис. 3, практически совпадает с кривой, показанной на рис. 2, а изменение угловых переменных α и γ существенно отличается от изменения соответствующих величин для варианта 1. Видно, что на рис. 3 диапазон изменения угла γ резко уменьшился, а значит, предпочтительнее использовать для косвенных измерений хода цилиндра угол α . Таким образом, для косвенного определения хода гидроцилиндра в подъемном механизме установочного агрегата для варианта 1 можно измерять угловые координаты φ и γ , а для варианта 2 — φ и α .

Способы измерения хода гидроцилиндров. Для контроля хода силовых гидроцилиндров посредством измерения угловых координат подвижных звеньев подъемного механизма целесообразно применять абсолютные угловые энкодеры [5], размещенные непосредственно на шарнирах подъемного механизма. Однако угловые энкодеры не всех типов стоит применять для решения данной задачи. Подходящими для измерения угловых координат в шарнирах подъемного механизма представляются, например, кольцевые энкодеры InCoder компании Zettflex (Великобритания) [6].

Энкодеры InCoder выполнены в виде двух печатных плат, имеющих форму плоских колец и помещенных в прочные корпуса из

алюминия (рис. 4, а). Плата статора (неподвижная) подключается к источнику питания и служит источником электромагнитного поля — исполняет роль антенны. Плата ротора (подвижная) не имеющая внешних электрических связей, формирует конфигурацию поля в зависимости от угла поворота ротора относительно статора. Электронная схема статора преобразует изменения электромагнитного поля в один из стандартных выходных сигналов.

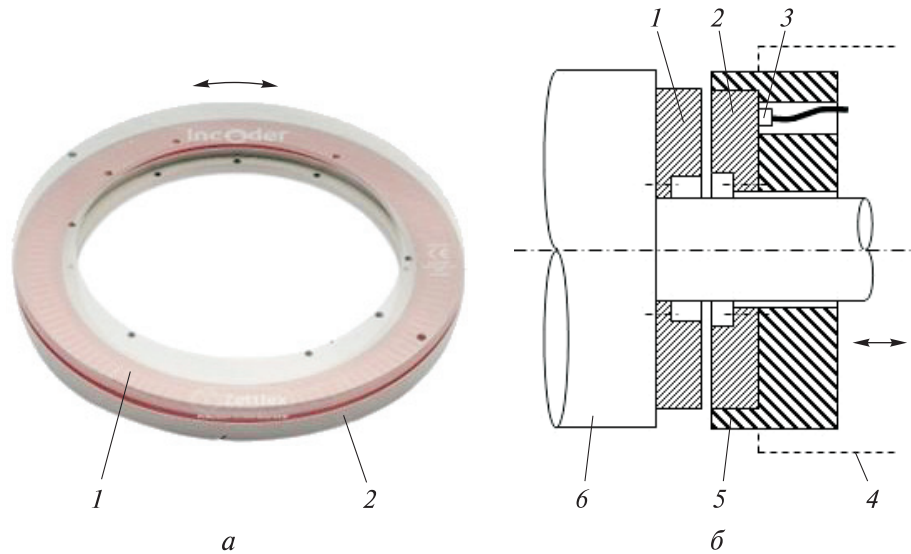


Рис. 4. Угловой энкодер Zettflex:

а — внешний вид энкодера; б — монтаж энкодера на шарнире стрелы; 1 — ротор; 2 — статор; 3 — кабель связи; 4 — механизм перемещения статора; 5 — фланец; 6 — ось шарнира стрелы

Внутренние рабочие поверхности плат ротора и статора датчика заливают специальным составом, обеспечивающим их прочность и герметичность, поэтому на работу датчиков InCoder не влияют такие факторы окружающей среды, как влага, конденсат или пыль (степень защиты IP67), и они сохраняют работоспособность при температурах от -45 до $+85$ °С.

Поскольку рассматриваемый датчик является абсолютным, на его выход поступает информация об абсолютном положении ротора относительно статора без необходимости поворота вала или возврата его в начальное положение. Погрешность измерения угла поворота не превышает нескольких десятков угловых секунд на один оборот вала.

Отсутствие в энкодерах InCoder контактных, трущихся, хрупких или изнашивающихся частей, подшипников и уплотнений гарантирует длительный срок службы устройств без их обслуживания и ремонта.

Вариант монтажа энкодера InCoder на установочном агрегате приведен на рис. 4, б. Ось b одного из цилиндрических шарниров стрелы агрегата жестко соединена со стрелой, и на ее торце соосно закреплен ротор 1 датчика. Для монтажа статора датчика на раме агрегата смонтирован специальный кронштейн с механизмом 4 линейного перемещения статора в осевом направлении. На фланце 5 механизма закреплен статор 2 датчика, который с помощью этого механизма перемещается в направлении ротора так, чтобы между статором и ротором оставался зазор в пределах 0,75...1,45 мм. При этом радиальное смещение осей статора и ротора не должно превышать 0,25 мм. Электронная схема статора соединяется со вторичной аппаратурой специальным кабелем, обеспечивающим надежную связь в условиях повышенной влажности и вибрации.

Схожие параметры имеют кольцевые угловые энкодеры серии VL компании Netzer Precision Motion Sensors (Израиль) [7]. Энкодеры Netzer подходят для применения в сложных условиях, поскольку отличаются высокой точностью, хорошими массогабаритными параметрами, работоспособностью в широком температурном диапазоне, устойчивостью к ударам и вибрациям, нечувствительностью к электромагнитным помехам. Однако по сравнению с энкодерами Zettflex они хуже конструктивно проработаны с точки зрения их установки в механизмы.

По измеренным значениям угла поворота стрелы φ вторичная аппаратура вычисляет ход гидроцилиндра l_x в соответствии с уравнениями (1)–(3). Для повышения эксплуатационной надежности системы измерения может быть установлен второй угловой датчик на втором шарнире стрелы.

Из условий монтажа кольцевых угловых энкодеров следует, что их можно применять только для измерения угла поворота стрелы, шарниры которой обычно выполняют цилиндрическими. Поскольку в узлах крепления гидроцилиндров применяются сферические шарниры, установка в них упомянутых энкодеров будет сопровождаться дополнительной погрешностью измерения, вызванной угловым отклонением вертикальной продольной плоскости цилиндров от продольной плоскости стрелы подъемного механизма.

Возможен и другой способ косвенного измерения хода гидроцилиндра в шарнирном треугольнике. Он заключается в том, что в треугольник добавляется дополнительное звено CD (см. рис. 1) переменной длины, параллельное гидроцилиндру и шарнирно связанное с другими сторонами треугольника. Независимо от конфигурации шарнирного треугольника и текущей длины гидроцилиндра (звено AB) $\triangle OCD$ всегда подобен $\triangle OAB$ по трем углам. Поэтому можно записать очевидное соотношение

$$AB/CD = m, \quad (2)$$

где m равен коэффициенту пересчета (постоянная величина).

Из равенства (2) следует, что ход основного цилиндра можно определить по результатам измерения длины вспомогательного цилиндра меньшей длины, используемого в качестве измерительного звена. Такое решение позволяет применить для измерения хода силового гидроцилиндра существующие измерительные преобразователи линейного перемещения. Для решения этой задачи наилучшим сочетанием характеристик обладают измерительные преобразователи с магнестрикционными датчиками положения, а также тросовые измерительные преобразователи с датчиками угловых и линейных перемещений.

При использовании магнестрикционных датчиков положения измерительный преобразователь может быть выполнен, например, в виде цилиндра подходящих размеров, в который встроен магнестрикционный датчик положения поршня. Конструктивная схема части гидроцилиндра с установленным магнестрикционным датчиком положения [8] приведена на рис. 5.

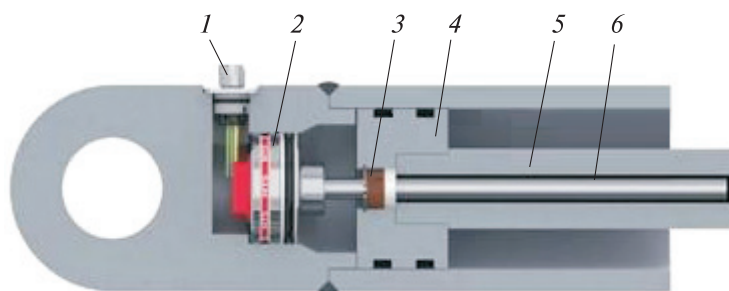


Рис. 5. Схема части гидроцилиндра с магнестрикционным датчиком положения:

1 — электрический соединитель; 2 — электронный блок; 3 — магнит; 4 — поршень;
5 — шток; 6 — волновод датчика

В состав магнестрикционного датчика входят волновод 6 из специального сплава, выполняющий роль чувствительного элемента, позиционный магнит 3 и преобразователь тензоимпульсов со вспомогательной электроникой, размещенный в электронном блоке 2. Датчик устанавливается в цилиндр со стороны задней проушины таким образом, чтобы поршень 4 мог свободно перемещаться вдоль волновода 6 датчика. Для этого шток цилиндра 5 изготавливают полым. Магнит датчика жестко закреплен в поршне, и поэтому он может перемещаться вместе с ним вдоль волновода, создавая локальное магнитное поле. При работе датчика электронный блок непрерывно подает на волновод короткие импульсы тока, создающие на нем импульсное радиальное магнитное поле. Мгновенное взаимодействие

магнитных полей волновода и постоянного магнита вызывает локальную магнитострикцию скручивания волновода в месте расположения магнита. Результирующий торсионный импульс распространяется с ультразвуковой скоростью вдоль волновода. Электронный блок обнаруживает торсионный импульс с помощью датчика упругой деформации и измеряет разницу между временем его обнаружением и моментом формирования импульса тока в электронном блоке. Этот временной интервал преобразуется в выходной сигнал, соответствующий абсолютному положению штока. На внешние устройства сигнал датчика передается через стандартный электрический соединитель I по проводной линии связи.

Цилиндр в составе измерительного преобразователя в данном случае используется не как силовой элемент объемного привода, а как средство защиты магнитострикционного датчика, а также для обеспечения направленного движения штока под действием усилия со стороны стрелы подъемного механизма. В составе механизма подъема цилиндр должен устанавливаться с помощью проушин со сферическими шарнирами, исключаяющими передачу изгибающего момента на измерительный преобразователь.

Следует отметить, что для построения такого варианта измерительного преобразователя может быть использован только одноступенчатый цилиндр, поскольку максимальное значение измеряемого перемещения не может быть больше начальной длины используемого цилиндра.

Магнитострикционные датчики положения выпускают многие зарубежные компании, в том числе Novotechnik (США), Balluff (Германия), MTS Sensors (США, Германия), TR-Electronic (Германия) и др. Эти датчики позволяют измерить линейные перемещения до нескольких метров с высокой точностью в широком температурном диапазоне. Например, датчики серии LMR48 компании TR-Electronic допускают установку в гидроцилиндр и позволяют измерять перемещение в диапазоне 50...2500 мм с погрешностью 0,04 % при температурах от -40 до $+85$ °С. Датчик имеет степень защиты уровня IP65 [9]. Датчики положения серии BTL6-E компании Balluff обладают схожими характеристиками, имеют диапазон измерения 6...2000 мм и степень защиты IP67 [10].

В России магнитострикционные датчики положения разрабатывает и изготавливает единственная компания ООО «ТрейсЛайн». Серийно выпускаемый компанией преобразователь линейных перемещений типа ПЛП-1000Н485 является базовой моделью с погрешностью измерения ± 1 мм в диапазоне от 100 до 4800 мм. Рабочий температурный диапазон преобразователя лежит в пределах $-50...+85$ °С, он имеет степень защиты IP66 [11].

Некоторые зарубежные компании производят магнитострикционные датчики положения, интегрированные в несущий корпус, который обеспечивает необходимые условия измерения (защиту от механических воздействий, направленность измерения перемещения и др.). Например, датчики серии ER компании MTS-Sensors выполнены в алюминиевом корпусе с квадратным сечением. Они имеют выдвижной шток, в котором размещены чувствительный элемент и электроника [12]. Длина хода штока достигает 1500 мм при погрешности измерения не более 0,02 %. Измерительный преобразователь выполнен со сферическими шарнирами в присоединительных узлах.

Измерительные преобразователи линейного перемещения с магнитострикционными датчиками положения обладают высокой точностью измерения в широком диапазоне ходов и рабочих температур при отсутствии необходимости обслуживания, у них отсутствуют подвижные части, подвергающиеся износу, заклиниванию, загрязнению и окислению, а также они устойчивы к вибрациям и ударам, что позволяет использовать такие датчики в сложных условиях эксплуатации. Однако применение магнитострикционных датчиков, встраиваемых в цилиндры, для измерения больших перемещений осложняется такими факторами, как необходимость использования полых штоков достаточной длины и консольный характер крепления датчика в цилиндре. Кроме того, как отмечалось выше, магнитострикционные датчики перемещения нельзя устанавливать в телескопических системах.

От этих недостатков свободны так называемые тросовые измерительные преобразователи, также широко используемые в промышленной автоматике. Свое название они получили в связи с наличием в их конструкции специального тросового механизма, преобразующего линейное перемещение гибкого троса во вращательное движение выходного вала. Такую конструкцию имеет, например, тросовый механизм датчиков компании SIKO (Германия) (рис. 6, а) [13]. На внутренний барабан 2, закрепленный на валу механизма, наматывается в один слой измерительный тросик с диаметром 0,3...0,5 мм, изготовленный из нержавеющей стали и покрытый полимерной оболочкой. При вытягивании тросика барабан начинает вращаться вместе с валом. Вытягивание тросика и его намотка на барабан осуществляются за счет энергии возвратных спиральных пружин 3, закрепленных на оси барабана, и сопровождаются вращением барабана в обратном направлении. Непосредственно связанный с осью барабана угловой датчик 1 регистрирует это вращение и вырабатывает измерительный сигнал, пропорциональный положению тросика. Соединение тросика с тем объектом, перемещение которого измеряется, осуществляется шарнирным винтом 4, исключая скручивание тросика.

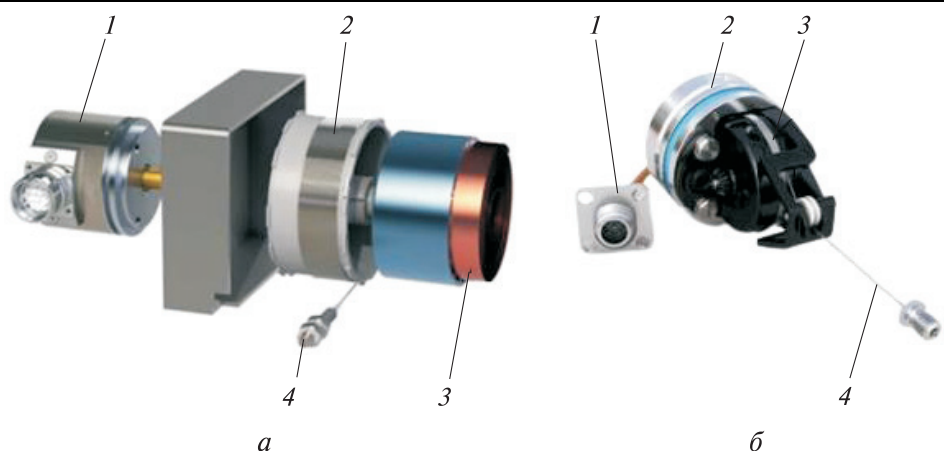


Рис. 6. Тросовый измерительный преобразователь линейного перемещения: *а* — тросовый механизм (1 — угловой энкодер; 2 — тросовый барабан; 3 — спиральные пружины; 4 — шарнирный винт); *б* — измерительный преобразователь SGH10 (1 — электрический соединитель; 2 — электронный блок; 3 — тросовый барабан; 4 — тросик)

Тросовый механизм с угловым энкодером может иметь компактное исполнение, допускающее его встраивание в гидроцилиндры [14]. Датчик SGH10 компании SIKO, предназначенный для установки в гидроцилиндр с ходом до 1000 мм, показан на рис. 6, б. Этот датчик, состоящий из электронного блока 2 и тросового барабана 3, выполнен в виде единой конструкции массой около 150 г. Для соединения с поршнем гидроцилиндра используется тросик 4 диаметром 0,45 мм с шарнирным винтом на конце, а для соединения со вторичной аппаратурой — стандартный электрический соединитель 1.

Нелинейность характеристики датчика не превышает $\pm 0,25\%$ во всем диапазоне измерения, температурный диапазон работы от -30 до $+100$ °C снизу ограничен возможностями тросового механизма.

Для монтажа в гидроцилиндр компания SIKO выпускает еще два тросовых датчика положения SGH25 и SGH50 с измеряемой длиной 2500 и 5000 мм соответственно. Эти датчики можно использовать для измерения хода телескопических гидроцилиндров.

Иной подход к измерению хода тросика применен в линейных датчиках положения серии SL компании CPI (Control Products, Inc.) [15]. В их основу положена технология преобразования вращательного движения тросового барабана в его линейное перемещение с помощью микрометрической винтовой передачи. При этом большая длина вытягивания тросика преобразуется в тросовом механизме в небольшое линейное перемещение барабана. Это перемещение измеряется либо с помощью линейного дифференциального трансформаторного датчика, либо короткоходового линейного магнитоstrictionного датчика. Для встраивания в гидроцилиндры используется

первый вариант. Его примером является датчик линейного положения SL1390. Он позволяет измерять ход поршня гидроцилиндра до 1000 мм с погрешностью $\pm 0,7$ мм в температурном диапазоне от -40 до $+125$ °С. Нелинейность преобразования не превышает 2 %.

Общий принцип монтажа тросовых измерительных преобразователей внутри гидравлических цилиндров приведен на рис. 7 [16].

Тросовый датчик 5 устанавливается в задней части корпуса цилиндра. Здесь же крепится электрический соединитель 6, обеспечивающий связь датчика с внешними устройствами. Тросик 4 датчика соединяется шарнирным винтом 3 с штоком 1 или поршнем 2. При выходе штока из корпуса цилиндра тросик вытягивается из датчика и положение штока преобразуется в электрический сигнал, который через соединитель передается на внешние устройства.

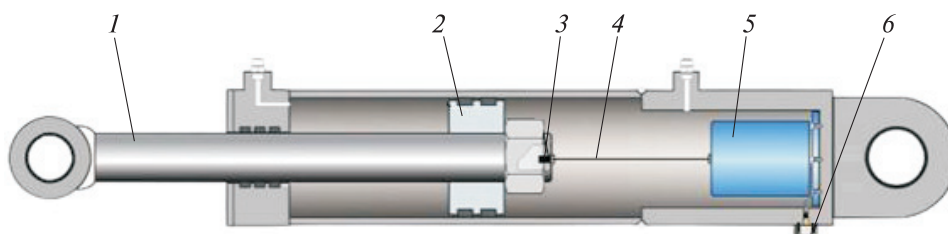


Рис. 7. Цилиндр с тросовым датчиком положения:

1 — шток; 2 — поршень; 3 — шарнирный винт; 4 — тросик; 5 — датчик;
6 — электрический соединитель

Преимуществами тросовых измерительных преобразователей линейного перемещения по сравнению с магнитострикционными датчиками положения являются существенно более широкий диапазон измерения, возможность применения в телескопических цилиндрах, удобный монтаж внутри цилиндра. Единственным их недостатком является наличие подвижных деталей в тросовых механизмах, износ которых сокращает срок службы устройства.

Применение рассмотренных линейных измерительных преобразователей в гидравлических механизмах подъема может быть реализовано двумя путями.

1. Использование готовых измерительных преобразователей с интегрированными в них линейными магнитострикционными датчиками положения, выпускаемых упомянутыми выше компаниями. При этом измеряемое перемещение не превышает 1000 (1500) мм.

2. Разработка и изготовление измерительных преобразователей в виде одноступенчатых или телескопических цилиндров с использованием тросовых датчиков линейного перемещения (положения). В России такую работу может выполнить, например, компания «Ижорские Гидросистемы», имеющая большой опыт разработки нестандартных гидроцилиндров, в том числе со встроенными датчиками.

Заключение. Проведенное исследование показывает, что при построении систем синхронизации для гидравлических механизмов подъема установочных агрегатов контролировать ход силовых гидроцилиндров можно косвенно, по результатам измерений угловых или линейных координат силовых элементов механизма. При этом угловые энкодеры можно использовать для измерения угла поворота стрелы агрегата, а линейные измерительные преобразователи на основе магнитострикционных датчиков положения или тросовых механизмов — для измерения хода дополнительного звена переменной длины, специально вводимого в состав механизма подъема.

Предложенные технические решения построения измерительных систем позволяют создавать более совершенные синфазные системы синхронизации параллельно работающих гидроцилиндров при проектировании установочных агрегатов для РН тяжелого и сверхтяжелого классов. Использование сигналов от измерительных преобразователей линейных и угловых перемещений позволяет проводить мониторинг операций подъема и опускания РН в составе автоматизированных систем управления технологическими операциями.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. *Синхронизация исполнительных органов гидрофицированных машин и механизмов*. Москва, Машиностроение, 1973, 144 с.
- [2] Новожилов Б.М. Гидравлические механизмы подъема для установочных агрегатов. *Аэрокосмический научный журнал*, 2016, № 6, с. 15–25.
- [3] Casey B., Tumarkin M. How to synchronize hydraulic cylinders. *HydraulicSupermarket.com*, Australia, 2006, 8 p.
- [4] Горшков Ю.А., Левин Б.К., Семикозов В.Ф., Щелоков Ю.В. *Транспортно-установочный агрегат стартового ракетного комплекса*. Патент России RU 2 478 539 С2, 2013.04.10.
- [5] Принцип работы абсолютного энкодера. *Megasensor.com* URL: <https://megasensor.com/products/princip-raboty-absolyutnogo-enkodera> (дата обращения 23.11.2020).
- [6] IncOder Product Guide. MIDI Rev 4.11.5.pdf. *Zettlex.com* [Электронный ресурс]. URL: https://www.zettlex.com/wp-content/uploads/2018/07/IncOder-Product-Guide_MIDI_Rev_4.11.5.pdf
- [7] High Resolution Absolute Encoders. *Netzerprecision.com* URL: <https://netzerprecision.com/products/#two-plate-ring-v1>
- [8] Temposonics. *Absolute, Non-Contact Position Sensors*. MH Series: Installation Manual. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.manualslib.com/manual/1605667/Mts-Systems-Temposonics-Mh-Series.html>
- [9] *Linear Encoders Overview.pdf* [Электронный ресурс] URL: https://www.trelectronic.com/sites/default/files/brochures/Brochure-PDF/linear_encoders-overview.pdf
- [10] Магнитострикционные датчики. *Balluff.com* URL: <https://www.balluff.com/local/ru/productfinder/#/ca/A0001/cg/G0116> (дата обращения 26.10.2020).

- [11] Современные технологии в основе датчиков линейных перемещений «ТрейсЛайн» российского производства. *Traceline.ru* URL: <http://traceline.ru/tehnologiya> (дата обращения 17.11.2020).
- [12] *Sensor Selector Guide Industry.pdf* [Электронный ресурс]. URL: https://www.mtssensors.com/Portals/MTS_Sensors/documents/Sensor_Selector_Guide_Industrial_551814_EN.pdf
- [13] *LinearLine_Wire-Actuated Encoders.pdf* [Электронный ресурс]. URL: <http://pzip.ru/editor/upload/pdf/linearline-catalog.pdf>
- [14] Wire-actuated encoder SGH10. *Siko-global.com* URL: <https://www.siko-global.com/en-ru/service-downloads/download-products?A=detail&id=1662> (дата обращения 15.11.2020).
- [15] Linear Position Sensors. *Cpi-nj.com* URL: <https://www.cpi-nj.com/linear-position-sensors> (дата обращения 20.11.2020).
- [16] Internal Mount Sensor. *Cpi-nj.com* URL: <https://www.cpi-nj.com/linear-position-sensors/internal-mount-sensor> (дата обращения 25.12.2020).

Статья поступила в редакцию 15.03.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Новожилов Б.М. Контроль хода гидроцилиндров в гидравлических механизмах подъема установочных агрегатов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2021, вып. 4. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-4-2075>

Новожилов Борис Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов — автоматизация технологических процессов. e-mail: novozhilovbm@bmstu.ru

Control of the stroke of hydraulic cylinders in hydraulic lifting mechanisms of installation equipment

© B.M. Novozhilov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

For the correct operation of hydraulic lifting mechanisms of the installation equipment of rocket and space complexes, it is necessary to ensure the synchronous movement of the rods of hydraulic power cylinders operating in parallel when performing working operations. Therefore, the urgent task is to develop synchronization systems that, along with ensuring the consistency of travel speeds, also provide the consistency of the mutual position of hydraulic cylinder rods. To solve this problem, we introduce a new approach which makes use of indirect methods for determining the working stroke of hydraulic power cylinders according to the results of measuring the angular or linear coordinates of the power elements of the mechanism. The first method is based on measuring the angular coordinates of the power elements of the lifting mechanism using angular displacement sensors - angular encoders. As for the second method, it relies on measuring the stroke of an additional link of variable length by means of magnetostrictive and cable linear position sensors. The paper briefly describes the device and the principle of operation of the sensors, and gives recommendations for the construction of measuring transducers as part of the lifting mechanism of the installation equipment. The new approach to solving the problem of controlling the stroke of hydraulic power cylinders in lifting mechanisms can be used in the development of advanced installation equipment for launch vehicles of heavy and superheavy classes.

Keywords: installation equipment, hydraulic lifting mechanism, synchronization systems, hydraulic cylinder, measurement of angular coordinates, measurement of linear coordinates

REFERENCES

- [1] Skritskiy V.Ya., Rokshevskiy V.A. *Sinkhronizatsiya ispolnitelnykh organov gidrofitsirovannykh mashin i mekhanizmov* [Synchronization of executive bodies of hydraulic machines and mechanisms]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973, 144 p.
- [2] Novozhilov B.M. *Aerokosmicheskiy nauchny zhurnal — Aerospace scientific journal*, 2016, no. 6, pp. 15–25.
- [3] Casey B., Tumarkin M. How to synchronize hydraulic cylinders. *HydraulicSupermarket.com*, Australia, 2006, 8 p.
- [4] Gorshkov Yu.A., Levin B.K., Semikozov V.F., Schelokov Yu.V. *Transportno-ustanovochny agregat startovogo raketnogo kompleksa* [Transporting and mounting assembly of universal spacecraft launch complex]. Patent RF, no. 2 478 539 C2, 2013.
- [5] Printsip raboty absolyutnogo enkodera [How an absolute encoder works]. *Megasensor.com* Available at: <https://megasensor.com/products/princip-raboty-absolyutnogo-enkodera> (accessed November 23, 2020).
- [6] IncOder Product Guide. MIDI Rev 4.11.5.pdf. *Zettlex.com* [electronic resource]. Available at: https://www.zettlex.com/wp-content/uploads/2018/07/IncOder-Product-Guide_MIDI_Rev_4.11.5.pdf
- [7] High Resolution Absolute Encoders. *Netzerprecision.com*. Available at: <https://netzerprecision.com/products/#two-plate-ring-v1>

- [8] Temposonics. *Absolute, Non-Contact Position Sensors*. MH Series: Installation Manual. [electronic resource]. Available at: <https://www.manualslib.com/manual/1605667/Mts-Systems-Temposonics-Mh-Series.html>
- [9] *Linear Encoders Overview.pdf* [electronic resource]. Available at: / https://www.trelectronic.com/sites/default/files/brochures/Brochure-PDF/linear_encoders-overview.pdf
- [10] Magnitostriksionnye datchiki [Magnetostrictive sensors]. *Balluff.com* Available at: <https://www.balluff.com/local/ru/productfinder/#/ca/A0001/cg/G0116> (accessed October 26, 2020).
- [11] Sovremennye tekhnologii v osnove datchikov lineynykh peremescheniy «Treis-Lain» rossiyskogo proizvodstva [Modern technologies at the heart of Russian-made TraceLine linear displacement transducers]. *Traceline.ru* Available at: <http://traceline.ru/tekhnologiya> (accessed November 17, 2020).
- [12] *Sensor Selector Guide Industry.pdf* [electronic resource]. Available at: https://www.mtssensors.com/Portals/MTS_Sensors/documents/Sensor_Selector_Guide_Industrial_551814_EN.pdf
- [13] *LinearLine Wire-Actuated Encoders.pdf* [electronic resource]. Available at: <http://pzip.ru/editor/upload/pdf/linearline-catalog.pdf>
- [14] Wire-actuated encoder SGH10. *Siko-global.com* Available at: <https://www.siko-global.com/en-ru/service-downloads/download-products?A=detail&id=1662> (accessed November 15, 2020).
- [15] Linear Position Sensors. *Cpi-nj.com* Available at: <https://www.cpi-nj.com/linear-position-sensors> (accessed November 20, 2020).
- [16] Internal Mount Sensor. *Cpi-nj.com* Available at: <https://www.cpi-nj.com/linear-position-sensors/internal-mount-sensor> (accessed December 25, 2020).

Novozhilov B.M., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Rocket Launch Complexes, Bauman Moscow State Technical University. Research interests: automation of technological processes. e-mail: novozhilovbm@bmstu.ru