УДК 629.735.33.02.002: 621.7.044.3

В. В. Воронько, Ю. А. Воробьев,
И. А. Воронько, В. В. Круглов

Разработка систем управления пневмоимпульсным энергетическим узлом дорнования отверстий авиационных конструкций в составе робототехнического комплекса

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

Разработаны электропневматическая и пневмомеханическая схемы управления пневмоимпульсным энергетическим узлом дорнования отверстий авиационных конструкций, а также схема управления энергоузлом с помощью пневматических электромагнитных клапанов. Приведено описание работы разработанных схем управления.

Ключевые слова: пневмоимпульсный энергетический узел, робототехнический комплекс, система управления, импульсное дорнование.

Постановка проблемы

Процессы упрочнения отверстий (как свободных, так и заполненных крепежными элементами – болтами, болтозаклепками и т.п.) не только важны с точки зрения повышения ресурса изделий, но и весьма разнообразны по способам их реализации (с использованием прессового оборудования, протяжных устройств, раздачи стапельными оправками и т.д.) [1-3 и др.].

Подавляющее большинство таких операций при сборке изделий авиационной техники ввиду их особенностей выполняют ручным механизированным инструментом. Рядом преимуществ такого упрочнения обладают импульсные устройства для дорнования, в частности, устройства с пневматическим энергоносителем (сжатым воздухом пневмосети 0,5 МПа) [4-6 и др.].

Решению вопросов дальнейшего улучшения условий труда рабочих-сборщиков, повышения точности, качества, стабильности технологических параметров и, наконец, производительности могло бы способствовать использование для операций импульсного дорнования отверстий робототехнических комплексов (далее – РТК).

Задача сводится к совместимости и обеспечению управления взаимодействием и функционирования элементов системы "Энергоузел – РТК – Объект" в системе координат РТК (рис. 1).

В качестве энергоузла (далее – ЭУ) возможно использование "пневмоімпульсного пристрою дорнування отворів" [7] – применяется устройство ПИУД-100, в котором реализуется схема прямого и реверсного дорнования. Часть функций управления заложены в принципиальной схеме ЭУ. Такие функции, как позиционирование ЭУ с рабочим органом (захватом РТК) в соответствующих точках расположения упрочняемых отверстий, перемещение по осям координат, команды готовности ЭУ, пуска прямого удара и т.п., могут выполняться командоаппаратом с помощью управляющих программ (УП) РТК.

В системе координат РТК (см. рис. 1) исходным считается такое положение элементов системы "ЭУ – РТК – объект", при котором ЭУ, удерживаемый захватом РТК, перемещается к точке "позиционирования" (начало координат XOZ) или

находится в неподвижном состоянии по оси упрочняемых отверстий объекта X. Положение "позиционирования" – это состояние, предшествующее удару, когда ЭУ с его рабочим инструментом соосен с упрочняемым отверстием объекта (находится на оси Z). Положения "прямой удар" (дорнование прямое) и "реверсный удар" (выглаживающее дорнование) принято называть рабочими (технологическими).

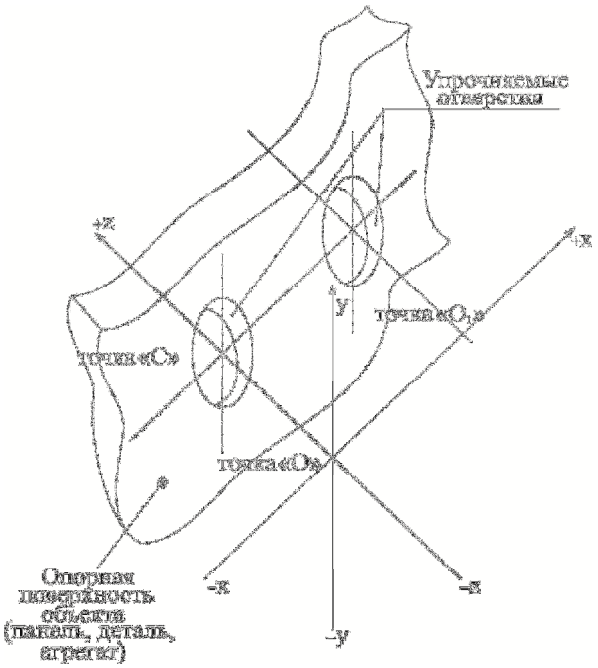

Рис. 1. Объект в системе координат РТК

Положение возврата ЭУ в исходное положение – это его выход на ось X.

При разработке ЭУ необходимо различать несколько положений системы (в частности, "ЭУ – РТК"), т.е. состояний ее элементов. Исходным считается такое положение элементов, при котором ЭУ перемещается к точке "позиционирования" (начало координат XOZ) или находится в неподвижном состоянии (см. рис. 1). Состояние (положение) готовности к реализации прямого действия инструмента (дорнование) – это предударное состояние (предшествующее удару), когда ЭУ с инструментом находится на оси Z упрочняемого отверстия (ось дорна совпадает с осью отверстия). Состояние прямого удара – дорнование отверстия и состояние реверсного удара – выглаживание поверхности упрочняемого отверстия. Последние два состояния принято называть рабочими. И, наконец, положение возврата в исходное состояние.

Схема управления энергоузлом с помощью пневматических электромагнитных клапанов

Энергоузел (ЭУ) представляет собой конструктивно-схематичную доработку пневмоимпульсного устройства дорнования ПИУД-100 (рис. 2), заключающуюся в выполнении в передней выхлопной камере 10 окон 11, соединяющих ее с атмосферой. Вместо рукоятки ЭУ содержит воздухораспределительный коллектор 2 с четырьмя каналами, соединяющимися: с ресивером 4 (канал 37), с кольцевой камерой 35 (канал 38), с забойковой плоскостью 8 через канал 27 (канал 39), а также "выхлопной" дренажный канал 14, постоянно соединенный с атмосферой.

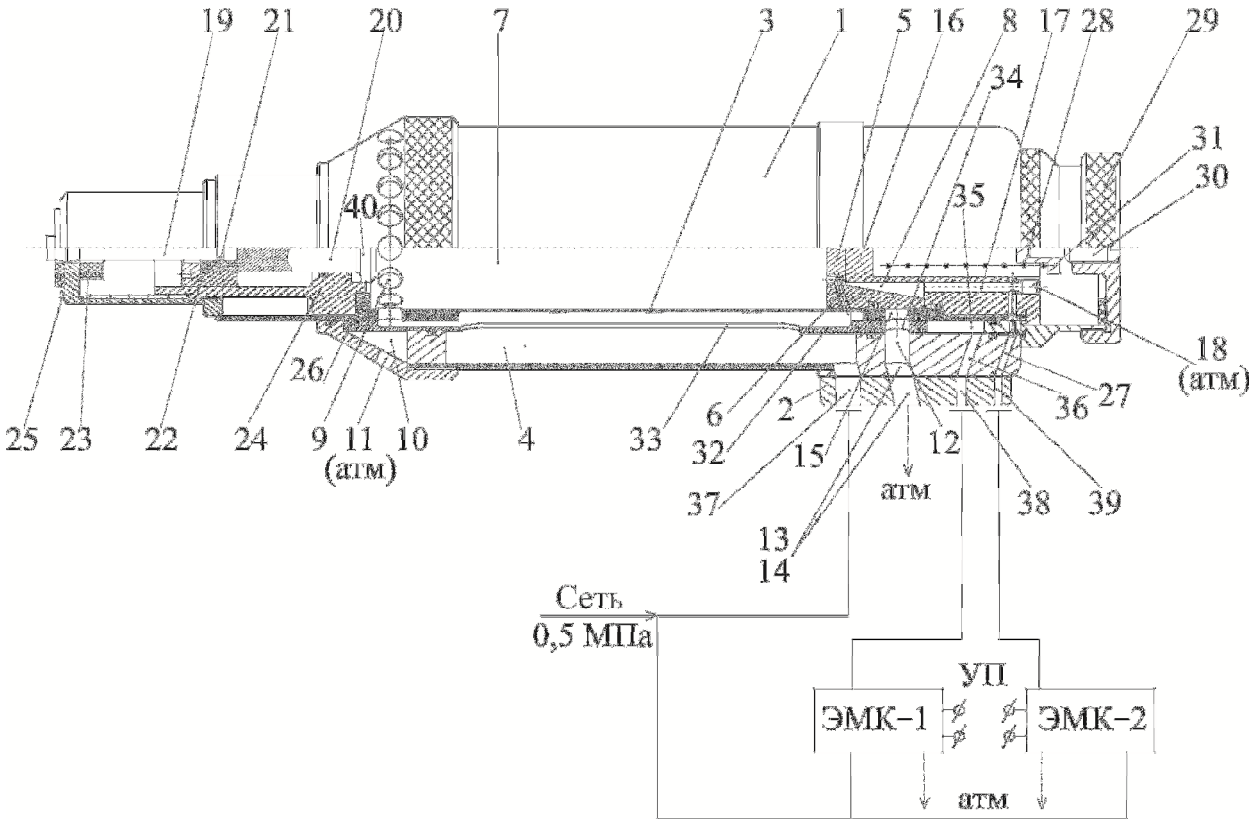

Рис. 2. Схема управления ЭУ с помощью пневматических ЭМК:

1 – корпус; 2 – воздухораспределительный коллектор; 3 – ствол; 4 – ресивер; 5 – боек; 6 – дроссельное отверстие бойка; 7 – предбойковая полость; 8 – забойковая полость; 9 – передние окна; 10 – передняя выхлопная камера; 11 – выхлопные окна; 12 – задняя выхлопная камера; 13 – канал; 14 – канал дренажа; 15 – задние окна; 16 – задняя крышка; 17 – канал; 18 – дроссель; 19 – рабочий инструмент (дорн); 20 – дорнодержатель; 21 – сухари; 22 – упорная гайка; 23 – демпфер; 24 – передняя крышка; 25 – упорная втулка; 26 – демпфер; 27 – канал; 28 – пружина; 29 – крышка; 30 – регулировочный винт; 31 – подпружиненная втулка; 32 – воздухораспределительная втулка; 33 – окна; 34 – задние окна; 35 – кольцевая камера; 36 – канал; 37 – канал; 38 – канал; 39 – канал; 40 – бурт дорнодержателя

Таким образом, каналы коллектора 2 подсоединяются воздухопроводами (шлангами):

37 – с напорной магистралью,

38 – с пневматическим электромагнитным клапаном ЭМК-1,

39 – с пневматическим электромагнитным клапаном ЭМК-2,

14 – с атмосферой (возможно с использованием глушителя шума).

Электромагнитные клапаны обеспечивают функционирование ЭУ и управляются командоаппаратом УП манипулятора РТК. ЭМК содержат каналы "вход", "выход" (нагнетание), "выхлоп" (атмосфера, стравливание) (рис. 3).

В обесточенном состоянии:

ЭМК-1 обеспечивает нагнетание обслуживаемой пневмокамеры сжатым воздухом пневмосети (кольцевая камера 35).

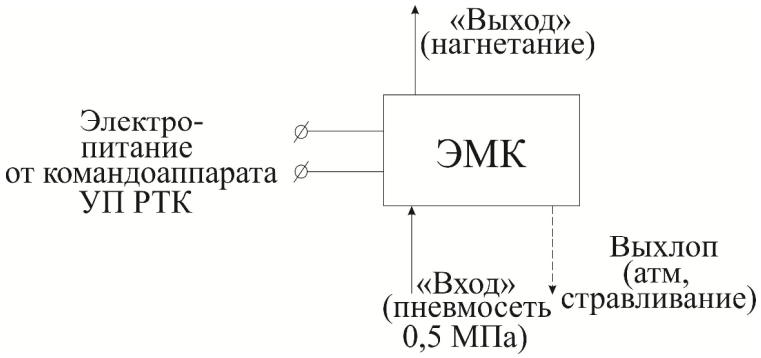

Рис. 3. Схема подключения пневматического электромагнитного одноходового клапана

ЭМК-2 обеспечивает "выхлоп" (стравливание в атмосферу) из обслуживаемой полости (забойковая плоскость 8).

В исходном положении конструктивные элементы ЭУ находятся в состоянии, показанном на схеме (см. рис. 2).

Электромагнитные клапаны системы управления обесточены. Клапан ЭМК-1 обеспечивает подачу сжатого воздуха сети в кольцевую камеру 35, удерживая воздухораспределительную втулку 33 в переднем положении. Клапан ЭМК-2 обеспечивает стравливание (дренаж) забойковой полости 8. Этому же способствует дроссель 18.

Сжатый воздух пневмосети постоянно поступает через канал 37 коллектора 2 в ресивер 4. Передняя выхлопная камера 10 также постоянно посредством выхлопных окон 11 связана с атмосферой.

Таким образом, сжатый воздух из ресивера 4, постоянно подпитываемого из пневмосети, через окна 33 ступенчатой воздухораспределительной втулки 32 поступает в предбойковую полость 7 ствола 3 через передние его окна 9. При этом боек 5 удерживается в своем исходном положении, т.е. в гнезде забойковой полости 8. Распределительная втулка 32 в исходном (переднем) положении удерживается давлением сжатого воздуха кольцевой камеры 35. Обеспечивается постоянный дренаж задней выхлопной камеры 12, а также сообщаемых с ней задних окон 15 и 34, соответственно ствола 3 и воздухораспределительной втулки 32 через каналы 13 и 14.

В исходном состоянии рабочий инструмент (дорн) 19 с дорнодержателем 20 давлением в предбойковой полости 7 удерживается в переднем крайнем положении.

При достижении ЭУ точки "позиционирования" XOY инструмент (дорн) находится соосно с упрочняемым отверстием на определенном (заранее программируемом и фиксируемом) расстоянии инструмента от поверхности объекта.

Достижение точки "позиционирования" сопровождается подачей электропитания к клапану ЭМК-1 командоаппаратом с помощью УП РТК. ЭМК-1 обеспечивает стравливание воздуха по каналам 36 и 38 из кольцевой камеры 35, в результате чего перемещает воздухораспределительную втулку 32 в заднее положение благодаря воздействию давления в ресивере 4 на большую ступень указанной втулки. При этом воздух из ресивера 4 через окна 33 втулки 32 подается к задним окнам 15 ствола 3, которые в данный момент перекрыты бойком 5. Одновременно воздухораспределительная втулка 32 открывает передние окна 9

ствола и сообщает предбойковую полость 7 с передней выхлопной камерой 10 и через окна 11 – с атмосферой. Такое положение конструктивных элементов УЭ соответствует его готовности к нанесению удара – "предударное положение". Это реализуется при перемещении ЭУ вдоль оси Z на регламентируемое расстояние к объекту. Величину такого перемещения определяют из расчета, в соответствии с которым дорн 19 войдет своим направляющим пояском в упрочняемое отверстие и упрется в него, упорная втулка 25 упрется в поверхность объекта, а ЭУ будет перемещаться до тех пор, пока его передняя крышка 24 не упрется в упорную втулку 25. Таким образом, обеспечивается необходимый и достаточный рабочий ход дорна 19 с дорнодержателем 20 относительно передней крышки 24.

Такое положение ("прямой удар") фиксируется координатой Z. При этом перемещение ЭУ вдоль оси инструмента прекращается, от УП РТК командоаппаратом обеспечивается посредством ЭМК-2 подача сжатого воздуха по тракту 39 – 27 – 17 в забойковую полость 8, что вызывает смещение бойка 5, который открывает задние окна 15. Сжатый воздух из реверса 4 разгоняет боек 5 до его соударения с дорнодержателем 20. Дорнодержатель 20 с инструментом приобретают кинетическую энергию, благодаря чему осуществляется процесс дорнования (прямой ход). Избыточная кинетическая энергия бойка 5 гасится демпфером 26, а дорнодержателя – демпфером 23. При этом дорнодержатель углубляется своим бортом 40 в проточку передней крышки 24. В таком положении дроссельное отверстие 6 бойка 5, который занимает крайнее переднее положение, сообщается с передними окнами 9 ствола 3. Реализуя прямой ход (дорнование), ЭУ продолжает быть зафиксированным в координатных перемещениях и готов для выполнения второй части рабочего движения – выглаживания ("реверсного удара", т.е. извлечения инструмента из отверстия объекта).

"Реверсный удар" осуществляется при условии одновременного обесточивания командоаппаратом УП РТК электроклапанов ЭМК-1 и ЭМК-2. При этом сжатый воздух из ЭМК-1 по каналам 38 и 36 поступает в кольцевую камеру 35, перемещает воздухораспределительную втулку 32 в переднее положение. Это обеспечивает стравливание воздуха из забойковой полости 8 через окна 15, 34, заднюю выхлопную камеру 12, каналы 13 и 14 в атмосферу. Кроме того, постоянно проводится стравливание воздуха из забойковой полости 8 через дроссель 18. Сжатый воздух из ресивера 4 через окна 33 подводится к окнам 9 ствола 3, которые в данный момент перекрыты бойком 5. Сжатый воздух, поступающий через дроссельное отверстие 6 бойка 5, обеспечивает его смещение и этим самым открытие окон 9 для разгона бойка.

Таким образом, под давлением сжатого воздуха из ресивера 4 боек 5 будет разгоняться в обратном направлении (забойковая полость 8, как отмечалось выше, сообщена с атмосферой). В данном случае кинетическая энергия бойка 5 будет расходоваться на удар по задней крышке 16, соединенной со стволом 3. Перемещаясь, ствол 3 посредством соединенной с ним передней крышки 24 и бурта 40 дорнодержателя 20 обеспечивает реверсное "извлечение" инструмента (дорна 19) из упрочняемого отверстия и "выглаживание" отверстия.

"Возврат" в исходное положение является следствием завершения реверсного удара, согласно которому извлеченный из отверстия объекта дорн 19 с

дорнодержателем 20 под давлением сжатого воздуха предбойковой полости 7 будет прижат к поверхности объекта. Ствол 3 с передней крышкой 24 под воздействием пружины 28 займет исходное положение. Боек 5, вытесняя воздух из гнезда забойковой полости 8 через канал 17 и дроссель 18 в атмосферу, также займет исходное положение.

Система "ЭУ – РТК – Объект" готова к выполнению очередного цикла.

Упрощенная циклограмма управления системой ЭУ – РТК – объект" представлена в таблице.

Упрощенная циклограмма управления системой "ЭУ – РТК – Объект"

№ п/п	Содержание перехода	Функции УП РТК	ЭУ (состояние элементов)	Примечание
1	Задание исходной траектории перемещения ЭУ	Управляющая программа (УП) движение – выход на ось X	"Исходное состояние" положение элементов ЭУ по схеме (пневмосеть – ресивер 4)	Условие: ось OX – в плоскости продольной оси упрочняемых отверстий объекта, т.е. y=const
2	Выход ЭУ в точку "позиционирование"	Фиксирование ЭУ в точке "0" (Z=0) y=const. УП – командоаппарат – ЭМК-1	"Состояние готовности" (предударное состояние), пневмосеть 0,5 МПа – ресивер 4, предбойковая полость 7 – атмосфера	
3	Выход ЭУ в точку "прямой удар", дорнование прямое	Движение по Z и фиксирование ЭУ в точке "C" y=const по оси Z (Z=C). УП – командоаппарат – ЭМК-2	Состояние "прямой удар", предбойковая полость 7 – атмосфера, пневмосеть 0,5 МПа, ресивер 4 – забойковая полость 8, разгон бойка 5 – удар по дорнодержателю 20	Дорнодержатель 20 утоплен на величину рабочего хода дорна 19 относительно передней крышки 24
4	Дорнование выглаживающее (извлечение дорна)	Фиксирование ЭУ в точке "C" (Z=C, y=const). УП – командоаппарат – обесточивание ЭМК-1, ЭМК-2	Состояние "реверсный удар", пневмосеть 0,5 МПа – ресивер 4, забойковая полость 8 – атмосфера, предбойковая полость 7 – ресивер 4 – реверсный удар – извлечение дорнодержателя 20 стволом	
5	Возврат ЭУ в исходное положение	УП – движение по Z в точке "0" y=const	Элементы ЭУ возвращаются в "исходное состояние"	
6	Перемещение ЭУ к следующему отверстию для дорнования	УП – движение (перемещение по оси X) в точке 01	Элементы ЭУ находятся в "исходном состоянии" (см. рис. 2)	Задается координата OX, равная шагу отверстий объекта

Электропневматическая схема управления энергоузлом

Данная схема предполагает использование такого же ЭУ, как и предыдущая (рис. 4).

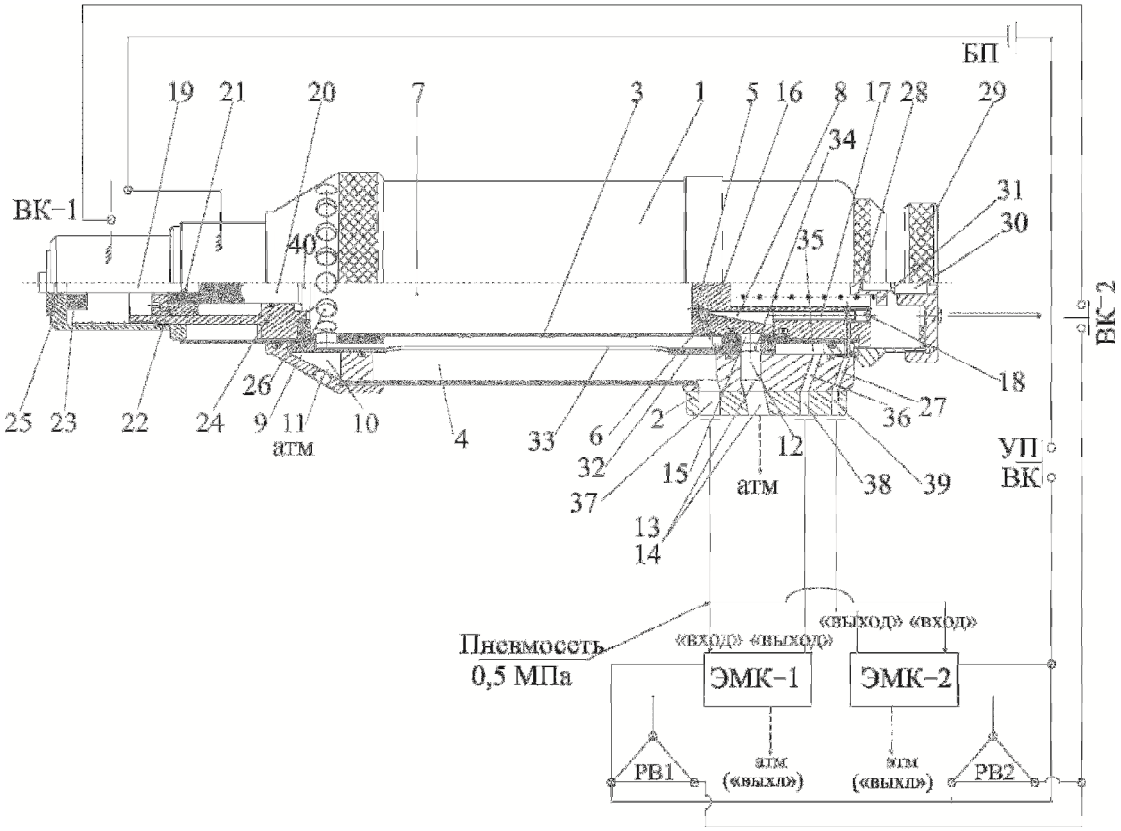

Рис. 4. Электропневматическая принципиальная
схема системы "ЭУ – РТК – объект"

Отличительные функциональные и принципиальные особенности схемы:

1.Система управления манипулятором взаимодействует с системой управления ЭУ.

2.Система включает в себя:

– ЭУ, который имеет такой же воздухораспределительный коллектор;

– концевой выключатель ВК, срабатывающий от УП РТК;

– концевой выключатель ВК-1, срабатывающий в момент контакта упорной втулки 25 с передней крышкой 24, т.е. когда дорнодержатель утоплен для рабочего хода;

– концевой выключатель ВК-2, срабатывающий в момент конца реверсного хода ствола, т.е. задняя крышка 16 контактирует с крышкой 29 (откат ствола);

– электромагнитный воздушный клапан ЭМК-1, обеспечивающий управление воздухораспределительной втулки 32 (нагнетание и стравливание кольцевой камеры 35);

– электромагнитный воздушный клапан ЭМК-2, обеспечивающий нагнетание и стравливание забойковой полости 8;

– реле (реле времени) РВ1, регулирующее временной интервал коммутационного питания ЭМК-1;

– реле (реле времени) РВ2, регулирующее временной интервал

коммутационного питания ЭМК-2;

– блок питания БП системы управления ЭУ.

В исходном положении элементы ЭУ находятся согласно принципиальной схеме (см. рис. 4): концевые выключатели ВК-1 – с нормально разомкнутыми контактами, ВК-2 – с нормально замкнутыми.

В точке "позиционирования" (точка "0") (см. рис. 1) УП РТК цепь управления ЭУ запитывается, тем самым обеспечивается перемещение ЭУ по координате Z, в точке "С" (Z=C) срабатывает ВК-1 и электрическая цепь запитывается через соответствующее реле времени РВ-1 ЭМК-1 (состояние готовности) и затем, через определенный промежуток времени, определяемый РВ-2, ЭМК-2 обеспечивает удар (дорнование).

После удара по УП РТК цепь системы управления ЭУ обесточивается выключателем ВК.

В этом случае элементы ЭУ занимают исходное положение, и если боек занял крайнее левое положение (процесс прямого дорнования завершен), то автоматически произойдет реверсный удар ("выглаживание", выдергивание дорна). Таким образом, реверсное дорнование осуществляется автоматически пневматической системой самого ЭУ.

УП РТК остается отвести ЭУ по оси Z в точке "0" и в дальнейшем обеспечить дорнование следующего отверстия. Взаимодействие системы управления УП РТК манипулятора и системы управления ЭУ позволит, при необходимости, проводить корректировку рабочих циклов процесса.

Пневмомеханическая схема управления энергоузлом

Схема показана на рис. 5 (условно ЭУ не изображена, представлен только воздухораспределительный коллектор).

Пневмомеханическая схема обеспечивает управление ЭУ с помощью блока пневмоуправления, жестко связанного с "ручкой" (механизмом захвата) манипулятора РТК. Блок пневмоуправления представляет собой платформу, содержащую два пневмоклапана 1 и 2, взаимодействующих с рычажным механизмом с подпружиненным упором. Взаимное расположение пневмоклапанов 1 и 2 обеспечивает возможность "тонкого" регулирования положений ЭУ. Пневмоклапан 1 обеспечивает управление воздухораспределительной втулкой 32 ЭУ (см. рис. 2 и 4). Воздухораспределительный клапан 2 управления забойковой полостью 8 обеспечивает прямой удар.

Принцип действия управления заключается в следующем.

Соосность инструмента (дорна) ЭУ и упрочняемого отверстия обеспечивается УП РТК. "Рука" ПР совместно с ЭУ и блоком управления перемещается по УП по оси Z. При достижении расчетного положения упор достигает поверхности объекта. Дальнейшее перемещение обеспечивает посредством подпружиненных рычажных механизмов: сначала срабатывание клапана 1, а затем благодаря зазору S – клапана 2 с одновременной остановкой (фиксированием) ЭУ по УП РТК и выполнением рабочих циклов ("удар", прямое дорнование).

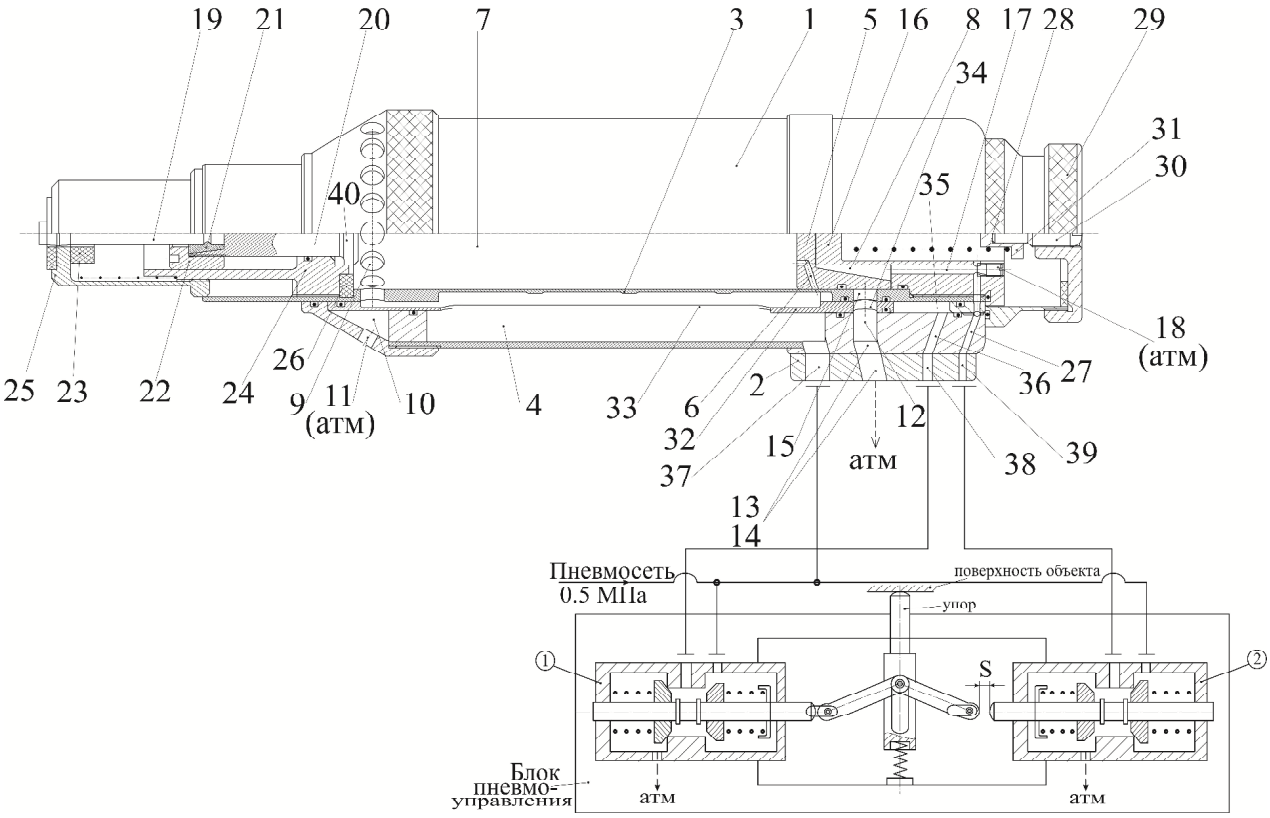

Рис. 5. Пневматическая схема управления ЭУ

После его завершения по УП РТК ЭУ перемещается по оси Z в обратном направлении. ЭУ фиксируется, а под воздействием пружины рычажный механизм обеспечивает практически одновременное срабатывание клапанов 1 и 2 и работу ЭУ на "реверс" – выглаживание. После его завершения УП РТК перемещает ЭУ в "исходное состояние" к координатам очередного упрочняемого отверстия объекта.

Выводы

При выборе конкретной из альтернативных схем управления системой "ЭУ – РТК – Объект" необходимо учитывать конкретные условия реализации процессов дорнования, определяемые в основном характеристиками РТК: существующий тип привода (электрический, электрогидравлический, пневматический), система управления (цикловая, позиционная), точность позиционирования, сложность разработки УП, число степеней свободы, возможность активного контроля и т.д.

Список литературы

1. Проскуряков, Ю. Г. Упрочняюще-калибрующие методы обработки [Текст] / Ю. Г. Проскуряков. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

2. Упрочнение отверстий болтовых соединений в конструкциях из алюминиевых сплавов. Производственная инструкция ПИ-6843. Изд. 4, 1987. – 16 с.

3. Исследование, разработка и внедрение технологического процесса и

оснащения для дорнования отверстий и запрессовки болтов. Заключительный отчет по теме 016.03.01.01.03. – Куйбышев: КуАИ, 1980. – 46 с.

4. Кривцов, В. С. Скоростное дорнование отверстий авиационных конструкций из алюминиевых сплавов пневмоимпульсными устройствами [Текст] моногр. / В. С. Кривцов, Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 99 с.

5. Воробьев, Ю.А. Перспективные устройства для реализации процессов дорнования отверстий [Текст] / Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3 (11). – Х., 2004. – С. 28 – 32.

6. Воронько, В.В. Разработка пневмоимпульсного устройства для скоростного дорнования отверстий в авиационных конструкциях с / В.В. Воронько // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2/59. – Х., 2009. – С. 41 – 48.

7. Патент на винахід №81550. Україна. МПК (2006) B25 D 9/00. Пнемоімпульсний пристрій дорнування отворів / Кривцов В.С., Воробйов Ю.А., Чистяк В.Г., Воронько В.В. (Україна). – Заявл. 03.05.06; Опубл. 10.01.08, Бюл. №1. – 8 с.

Поступила в редакцию 12.12.2016.

Розроблення систем управління пневмоімпульсним енергетичним вузлом дорнування отворів авіаційних конструкцій в складі робототехнічного комплексу

Розроблено електропневматичну і пневмомеханічну схеми управління пневмоімпульсним енергетичним вузлом дорнування отворів авіаційних конструкцій, а також схему управління енерговузлом за допомогою пневматичних електромагнітних клапанів. Наведено опис роботи розроблених схем управління.

Ключові слова: пневмоімпульсний енергетичний вузол, робототехнічний комплекс, система управління, імпульсне дорнування.

Development of pneumatic pulsecontrol systems of power drive at burnishing of aircraft structures holes as part of robotic system

Developed was electro-pneumatic and pneumatic control circuit of pneumatic-pulse power drive at burnishing of aircraft structures holes, as well as the power unit control circuit by means of pneumatic solenoid valve. The description of the developed control circuit operation was done.

Key words: pneumatic pulse power drive, robotic system, control system, pulse burnishing.

Сведения об авторах:

Воронько Виталий Владимирович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина,E-mail: vitaliy.voronko@gmail.com.

Воробьев Юрий Анатольевич – канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры автомобилей и транспортной инфраструктуры, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, E-mail: yuriy.vorobyov@gmail.com.

Воронько Ирина Алексеевна – ассистент кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, E-mail: irina-voronko@ukr.net.

Круглов Владислав Владимирович – студент кафедры технологии производства летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.