УДК 62-51 https://doi.org/10.26160/2542-0127-2026-18-126-128

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ДВУСТОРОННЕГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ЭКСКАВАТОРА С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ПОЛОЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННОЙ СИЛОВОЙ КОМАНДОЙ

Азизов И.Р., Анисимов С.А., Горюнов Д.Г., Хизов А.В.
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, Саратов

Ключевые слова: экскаватор, двустороннее управление, рабочий орган, гидравлическая обратная связь, силовая команда, гидроцилиндр, гидрораспределитель.
Аннотация. Предложена гибридная архитектура двустороннего управления рабочим органом экскаватора, в которой обратная связь по положению реализована гидравлически – через вспомогательные гидроцилиндры, связанные рукавами с цилиндрами пульта управления. Канал силовой команды выполнен электронным: датчик усилия измеряет воздействие оператора и через гидрораспределитель управляет подачей в главные цилиндры. В отличие от известных схем, где положение передаётся электронно, предлагаемое решение обеспечивает естественную силовую отдачу: при упоре рабочего органа вспомогательный гидроконтур блокируется, и оператор физически ощущает сопротивление перемещению пульта. Рассмотрены принцип работы, преимущества и ограничения.

HYBRID BILATERAL CONTROL SYSTEM FOR AN EXCAVATOR WORKING IMPLEMENT WITH HYDRAULIC POSITION FEEDBACK AND ELECTRONIC FORCE COMMAND

Azizov I.R., Anisimov S.A., Goryunov D.G., Khizov A.V.
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov

Keywords: excavator, bilateral control, working implement, hydraulic feedback, force command, hydraulic cylinder, hydraulic directional control valve.
Abstract. A hybrid architecture for bilateral control of an excavator working implement is proposed, in which position feedback is implemented hydraulically – through auxiliary hydraulic cylinders connected by hoses to the cylinders of the control console. The force command channel is implemented electronically: a force sensor measures the operator's input and, via a hydraulic directional control valve, controls the supply to the main cylinders. Unlike known schemes in which position is transmitted electronically, the proposed solution provides natural force feedback: when the working implement stalls, the auxiliary hydraulic circuit is blocked, and the operator physically feels resistance to the movement of the control console. The operating principle, advantages, and limitations are considered.

Точное управление тяжёлыми гидравлическими машинами, например экскаваторами, необходимо при работе в опасных зонах: разбор завалов, работа в радиоактивно или химически загрязнённых зонах и т.д. Однако существующие системы передают оператору только визуальную информацию, лишая его «чувства машины» – способности ощущать усилие на рабочем органе [1].

В классических двусторонних системах положение и усилие передаются электронно, что требует применения датчиков, сервоприводов и сложных алгоритмов управления [2]. Альтернативой является гидравлическая передача

положения, при которой информация передаётся самим рабочим телом – жидкостью [3].

В данной статье, предложена гибридная архитектура двустороннего управления, в которой положение передаётся гидравлически через вспомогательные гидроцилиндры, а силовая команда формируется электронно. Решение обеспечивает естественную силовую отдачу, простоту и совместимость с существующей гидравликой тяжёлых машин (рис. 1).

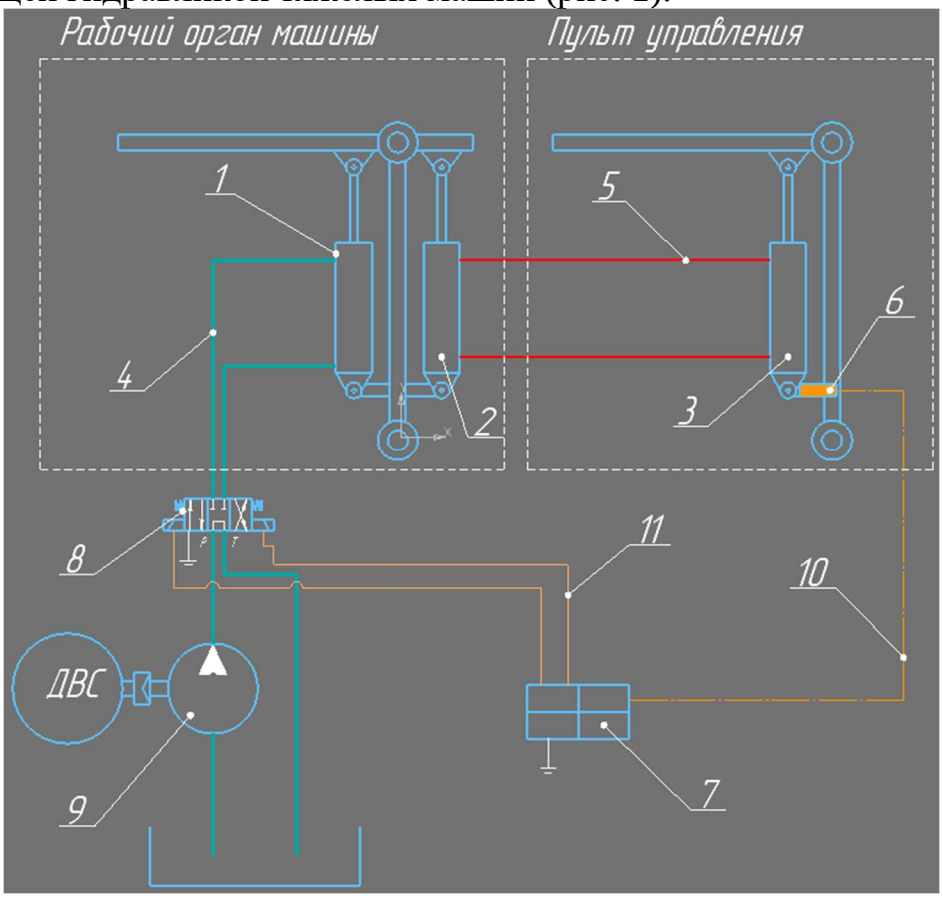


Рис. 1. Схема гибридной системы управления: 1 –гидроцилиндр привода стрелы; 2 – ведущий гидроцилиндр пульта на стреле; 3 – ведомый гидроцилиндр пульта; 4 – рукава высокого давления; 5 – рукава низкого давления гидроцилиндров пульта; 6 – датчик усилия; 7 – микроконтроллер; 8 – гидрораспределитель; 9 – гидронасос; 10 – линия связи датчика с контроллером; 11 – линии управления электромагнитными приводами гидрораспределителя

На рабочем органе машины (стреле, ковше) устанавливаются дополнительные гидроцилиндры 2. Они механически связаны с рабочей стрелой, но не участвуют в её приводе – их назначение только передавать положение. Гидроцилиндры 2 соединены рукавами 5 со своими копиями 3 на пульте управления, образуя замкнутый гидравлический контур.

Когда стрела машины двигается, гидроцилиндры 2 вытесняют жидкость в рукава 5. Жидкость поступает в цилиндры пульта 3, которые перемещают рукоятку оператора. Таким образом, пульт повторяет движение стрелы.

В свою очередь команда для движения рабочего органа машины подается с помощью датчика усилия 6, которая считывает силу, с которой воздействует оператор на стрелу пульта управления. Сигнал с датчика передается на контроллер

7, который в свою очередь управляет гидрораспределителем 8 и соответственно гидроцилиндрами 1.

Особенность решения заключается в следующем: когда стрела двигается свободно, оператор перемещает пульт без ощутимого сопротивления. Когда стрела упирается в препятствие или поднимает груз, главные цилиндры 1 замедляются. Дополнительные цилиндры 2 на стреле тоже замедляются. Жидкость в замкнутом контуре перестаёт двигаться, и пульт становится жёстким – оператор не может его сдвинуть, потому что жидкости некуда уходить.

Таким образом, оператор чувствует сопротивление движению рабочего органа, и соответственно, для преодоления этого сопротивления, начинает давить сильнее. Датчик усилия 6, установленный в месте соединения штока цилиндра пульта 3 с рукояткой, фиксирует рост усилия. Сигнал поступает на контроллер 7, который управляет гидрораспределителем 8 главной гидросистемы: подача в главные цилиндры 1 увеличивается, и стрела преодолевает сопротивление.

Предлагаемое решение обеспечивает естественную силовую отдачу, простоту и совместимость с существующей гидравликой машины. Вспомогательные цилиндры добавляются к стреле, не изменяя главную гидросистему. Оператор выполняет роль естественного демпфирующего элемента, что снижает склонность к автоколебаниям.

Основные ограничения связаны с температурным расширением жидкости: при изменении температуры на 40 °C объём масла в замкнутом контуре меняется на несколько процентов, что приводит к дрейфу нулевого положения пульта. Для компенсации требуется гидравлический компенсатор (аккумулятор) и температурная коррекция в контроллере [4].

Список литературы

1. **Lawrence D.A.** Stability and transparency in bilateral teleoperation // Transactions on Robotics and Automation. 1993, vol. 9, no. 5, pp. 624-637. DOI 10.1109/70.258054.
2. **Hayn H.**, Schwarzmann D. Control concept for a hydraulic mobile machine using a haptic operating device. Текст: электронный // Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2009). 2009, pp. 348-353.
3. **Zareinia K.**, Sepehri N. Lyapunov stable displacement-mode haptic manipulation of hydraulic actuators: theory and experiment // International Journal of Control. 2012, vol. 85, no. 9, pp. 1313-1326. DOI 10.1080/00207179.2012.683811.
4. **Kontz, M.E.** Haptic control of hydraulic machinery using proportional valves: dissertation ... Ph. D. / Matthew Edward Kontz; Georgia Institute of Technology. – Atlanta, 2007. – URL: https://repository.gatech.edu/entities/publication/cf8d8f1a-b2d6-41c2-bb34-eb00d49f2741.

Сведения об авторах:

Азизов Ирек Раилевич – к.т.н., доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины»;

Анисимов Сергей Александрович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины»;

Горюнов Дмитрий Геннадьевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины»;

Хизов Андрей Викторович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины».