

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОГО ПРИВОДА ЭКСКАВАТОРА

¹В.В. Савинкин, ²В.Н. Кузнецова,

¹Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения
«Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева»,
Петропавловск, Казахстан

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет
(СибАДИ)», Омск, Россия

Аннотация. В статье приведено описание системы управления, обеспечивающей увеличение энергоэффективности гидрооборудования одноковшового экскаватора. Модернизация системы позволила повысить точность управления, равномерность распределение мощности по исполнительным механизмам в соответствии с энергоемкостью рабочих операций. Рассмотрены режимы работы экскаватора, поворотной платформы. Показано, что использование адаптивной системы управления поворотной платформы позволяет обеспечить плавность хода платформы и исключает ударные нагрузки при режимах разгона и торможения.

Ключевые слова: экскаватор, гидропривод, мощность, управление.

Annotation. The article describes the control system that provides an increase in the energy efficiency of a single-bucket excavator hydraulic equipment. Modernization of the system allowed to increase the control accuracy, the uniform distribution of power to the actuators in accordance with the energy intensity of the working operations. Considered modes of operation of the excavator, turntable. It is shown that the use of an adaptive control system of the turntable allows for a smooth course of the platform and eliminates shock loads during acceleration and deceleration modes.

Keywords: excavator, hydraulic drive, power, control.

Производственные условия эксплуатации одноковшовых экскаваторов связаны не только с работой в тяжелых климатических условиях, в высокоабразивной среде, но и с постоянно изменяющимися динамическими нагрузками, оказывающими воздействие на рабочее оборудование, в том числе и на опорно-поворотное устройство. Назначением опорно-поворотного устройства является передача нагрузки от поворотной платформы к ходовой части экскаватора и обеспечение возможности поворотной платформе свободно вращаться относительно нижней рамы машины. Для обеспечения надежности и долговечности элементов опорно-поворотного устройства необходимо проведение исследований, связанных поиском возможностей снижения влияния эксплуатационных нагрузок при выполнении технологических операций [1 - 4].

Установлено, что при выполнении технологических операций на неустановившихся режимах разгона и торможения кинематические пары зацепления поворотной платформы одноковшового экскаватора испытывают существенные циклические динамические нагрузки [4]. При выполнении разгона платформы угол ее поворота до забоя φ равен 180° , время поворота t_1 составит $1,5 \div 2,3$ с. Максимальные нагрузки на зубья поворотной платформы возникают от начала поворота до достижения угла φ , соответствующего $77^\circ 5'$. При этом напряжения изгиба $\sigma_{и}$ и контакта $\sigma_{н}$ начинают ускоренно возрастать в течение $t_1^{ин}$, равном $0,01 \div 0,8$ с, достигая следующих максимальных значений: напряжение на контактной поверхности шестерни $\sigma_{и}$ составит $950 \div 1000$ МПа, на венце поворотного круга $\sigma_{н}$ - 820 МПа. Значения силы инерции ϕ будут находиться в пределах $35 \div 36$ кН. Кроме этого, наблюдается увеличение удельной окружной силы в шестернях зацепления механизма поворота до 1750 Н/мм.

Режим торможения платформы происходит за достаточно короткое время t_3 , составляющее $0,002 \div 0,96$, и при угле поворота платформы φ , равном $113^\circ 3' \div 179^\circ$. В этот момент наблюдается резкое увеличение напряжений изгиба $\sigma_{и}$ до $1800 \div 2000$ МПа, приходящихся на ограниченную зубом шестерни контактную поверхность. Высокие значения напряжений объясняются значительными касательными силами инерции рабочего оборудования и поворотной платформы, возникающими в результате ускорения. В этот период силы инерции ϕ достигают $48000 \div 50000$ Н, а удельная окружная сила составляет $2750 \div 2830$

Н/мм. Для эффективного управления возникающими при повороте платформы угловыми скоростями, моментами инерции и силами сопротивления разработана адаптивная следящая система управления с электрорекуператором. Функциональная схема адаптивной системы управления поворотной платформой представлена на рисунке 1 [5, 6].

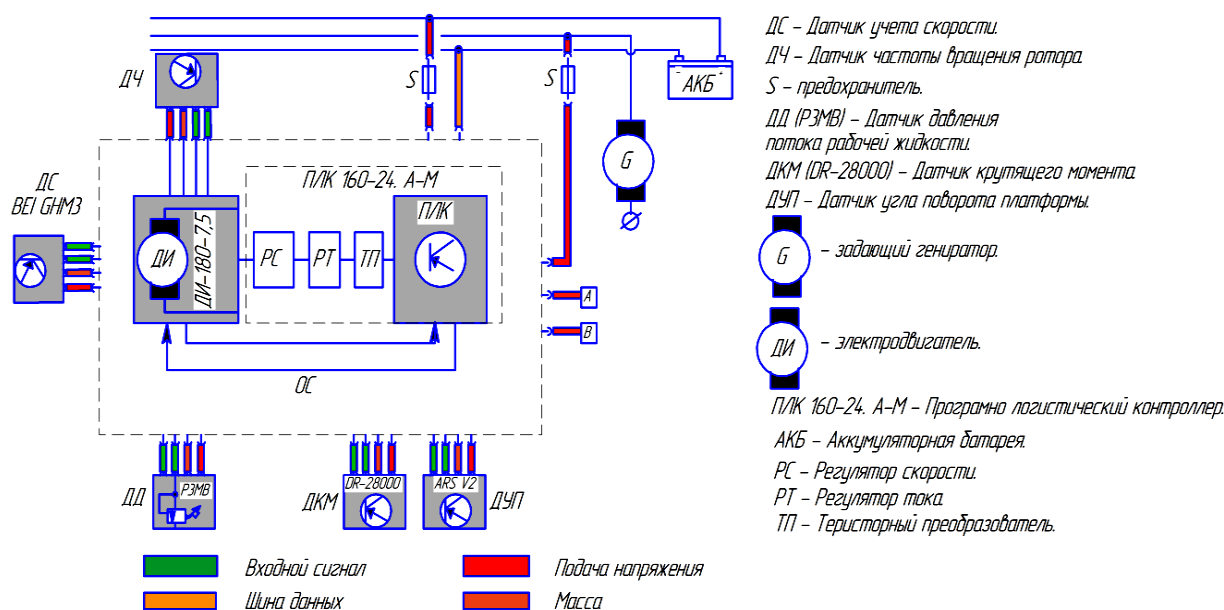


Рис. 1. Функциональная схема адаптивной системы управления поворотной платформой одноковшового экскаватора

Управление электрорекуператором поворотной платформы осуществляется с помощью программно-логистического контроллера (ПЛК). Крутящий момент на ведущем валу редуктора воспринимается датчиком крутящего момента DR-28000 приводной шестерни. Работа датчика основана на принципе магнитного сопротивления. Крутящий момент рассчитывается и передается в виде сигнала на ПЛК рекуператора при смещении магнита относительно чувствительного элемента. Электродвигатель ДИ-180-7,5 рекуператора включается через определенные промежутки времени и имеет максимальный дополнительный крутящий момент, равный 20,5 Н·м. Малое время отклика электрорекуператора позволяет вращать поворотную платформу в заданном интервале времени. Электрорекуператор передает дополнительную силу на венцы опорно-поворотного круга. С другой стороны вала электрорекуператора установлен магнит, который используется ПЛК для определения частоты вращения ротора. Сигнал ПЛК служит для определения скорости вращения поворотной платформы. На рисунке 2 приведена блок-схема формирования сигналов между датчиками рекуперативной системы и ПЛК поворота платформы экскаватора.

При вращении платформы сигнал соответствующей полярности с датчика угла поворота платформы (ДУПП) поступает на вход формирователя напряжения управления (ФНУ). На другой вход поступает сигнал с датчика крутящего момента поворота платформы ДУПП, где происходит их идентификация и сравнение.

С выхода ФНУ поступает сигнал на блок логики (БЛ), который через замкнутый ключ (Кл) взаимодействует с датчиком положения ротора (ДПР). ДПР посредством формирователя импульсов управления (ФИУ) взаимодействует с распределителем импульсов (РИ), в котором возникают сигналы управления ключами коммутатора (К), подключающего электродвигатель (ЭД), который определяет заданный угол и скорость поворота платформы.

При повороте платформы в обратную сторону или в исходное положение сигнал с ДУПП изменяется на противоположный и поступает на ФИУ, где слаботочные сигналы управления меняются местами по фазам двигателя. В итоге исполнительный электродвигатель вращается в обратную сторону. После каждой отработки заданного угла ведущей шестерней поворота платформы ключ Кл размыкает связь между ДПР, в результате чего двигатель останавливается, фиксируя платформу в заданном положении.

Для ограничения больших пусковых токов, потребляемых двигателем, используются датчик тока (ДТ), узел сравнения (УС), широтно-импульсный модулятор (ШИМ), усилитель рассогласования (УР), задающий генератор (ЗГ).

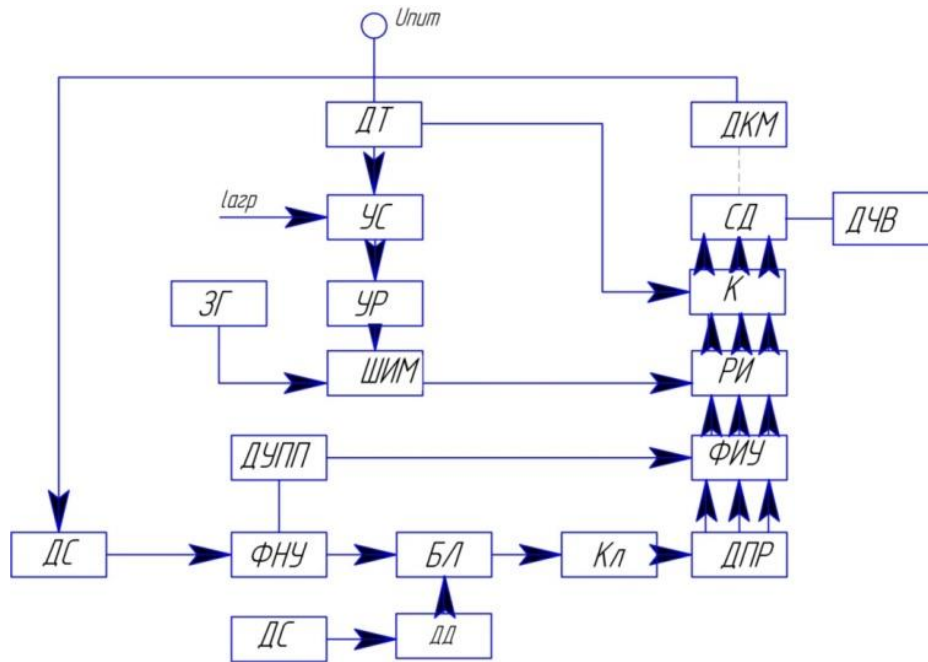


Рис. 2. Блок-схема формирования сигналов между системой датчиков рекуперативной системы и программно-логическим контроллером поворота платформы экскаватора

Для повышения энергоэффективности экскаватора предложено обеспечить гибридный привод поворотной платформы адаптивной системой управления с элементами автоматизации переходных и основных процессов поворота платформы. При разгоне поворотной платформы питание ДПТ будет осуществляться от аккумуляторных батарей напряжением 24В, питающих бортовую электросеть экскаватора. При торможении ДПТ будет переключаться в режим рекуперации (режим генератора постоянного тока (ГПТ)) и заряжать аккумуляторные батареи. Автоматизированный электропривод позволит повысить эффективность использования гидропривода и компенсировать изменение момента инерции поворотной платформы экскаватора.

При реализации вышеуказанной цели управления необходимо контролировать и регулировать ряд параметров: крутящий момент на валу гидродвигателя ($0 \div 18$ кН·м); разность давлений на входе и выходе гидродвигателя ($0 \div 4,6 \pm 0,1$ МПа); угловое ускорение ε , поворотной платформы экскаватора при разгоне ($0 \div 0,6 \pm 0,03$ рад/с²); угловое ускорение поворотной платформы экскаватора при торможении ($0 \div 0,76 \pm 0,03$ рад/с²); угловую скорость ω поворотной платформы экскаватора в период движения между разгоном и торможением ($0 \div 1,7 \pm 0,1$ рад/с); давление срабатывания предохранительного перепускного клапана (более 18 МПа).

Исследовав параметры и характеристики привода поворотной платформы экскаватора как объекта управления, выделены пять основных контуров регулирования и контроля.

Первый контур: регулирование крутящего момента на валу гидродвигателя за счет изменения крутящего момента на валу двигателя постоянного тока. Второй контур: регулирование углового ускорения поворотной платформы экскаватора при разгоне. Третий контур: регулирование углового ускорения поворотной платформы экскаватора при торможении. Четвертый контур: регулирование угловой скорости поворотной платформы экскаватора в период движения между разгоном и торможением. Пятый контур: контроль состояния предохранительного перепускного клапана.

По результатам исследований особенностей описанных контуров управления разработана схема адаптивной системы автоматизированного управления (САУ) (рисунок 3).

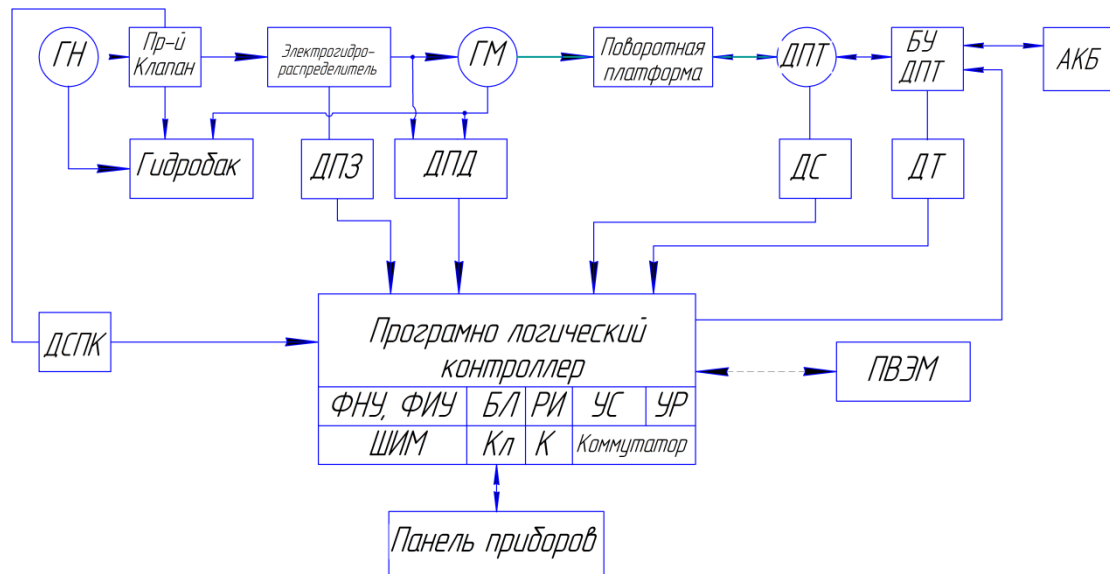


Рис. 3. Структурная схема адаптивной САУ энергоэффективной поворотной платформы экскаватора

В результате использования адаптивной системы управления с электрорекуператором-усилителем на одноковшовом экскаваторе обеспечивается плавность хода опорно-поворотной платформы. Особенно эффективна работа электрорекуператора-усилителя в начале операции поворота платформы, когда ускорение резко возрастает, и в конце операции поворота при резком ее замедлении. Необходимо подчеркнуть, что в конце операции поворота электрорекуператор-усилитель работает как рекуператор. Воспринимая силы сопротивления и инерции, он работает в режиме генератора и, преобразовав механическую энергию платформы в электрическую, возвращает ее в бортовую цепь, одновременно выравнивая угловые скорости. Это препятствует резкому троганию платформы с места, исключает динамические нагрузки и снижает возможность прорыва гидромагистралей. В результате снижается потребляемая мощность и уменьшается расход топлива экскаватора.

Выводы. Использование заявленного энергосберегающего гибридного механизма поворотной платформы обеспечивает эффективное преобразование моментов инерции рабочего оборудования в механическую энергию и полезную работу, равномерное распределение сил по рабочим поверхностям кинематических пар, и, как следствие, ведет к повышению энергоэффективности и долговечности всего гидропривода экскаватора, силовой установки и приводных механизмов.

Предложенная система автоматизации энергоэффективного привода поворота платформы с рекуперацией энергии повысит точность управления динамическими нагрузками с расширением применимости эффективных диапазонов технических параметров. Предложенная система регулирования существенно раскрывает понимание вопросов теории долговечности и влияние степени рекуперации на ресурс агрегатов.

Библиографический список

1. Кузнецова В.Н. Методика обоснования силовых и прочностных параметров редуктора поворотной платформы землеройной машины / Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. // Материалы международной науч. – прак. конф. «Фундаментальные и прикладные науки – основа современной инновационной системы». – Омск, СибАДИ – 2015. – С. 178– 184.
2. Алексеева, Т.В. Гидропривод и гидроавтоматика землеройно-транспортных машин: исследования и основы расчета [Текст] / Т. В. Алексеева. - Москва: Машиностроение, 1966. - 148 с.
3. Федотов, М. В. Экспериментальное исследование энергетического гидравлического устройства [Текст] / М. В. Федотов, К. А. Филонов, В. Ф. Щербаков // Строительные и дорожные машины, 2014, № 8. - С. 51 - 53.
4. Wu Z, Sun K.Y., Song M., Zheng M. Desing an Autonomous Excavation System for Hydraulic Excavators Applied Mechanics and Materials, 2013, Vol. 437. pp.471 – 474/

5. Савинкин В.В. Развитие теории энергоэффективности одноковшовых экскаваторов: дис. ... доктора технических наук / Сиб. автомобил.-дорож. акад. (СибАДИ). Омск, 2016 – 390 с.
6. Пат. № 159813 Российская Федерация МПК E02F 9/22. Энергосберегающий привод поворотной платформы землеройной машины [Текст] / Савинкин В.В., Кузнецова В.Н., Яковлев В.Г.