

УДК 621.225:69.002.51

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Л.А. Хмара, проф., д.т.н., Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск, А.П. Холодов, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Проанализированы существующие достижения в области создания гидроаккумулирующих систем и машин с гибридными силовыми установками. Рассмотрены возможности создания энергосберегающих строительно-дорожных машин циклического и непрерывного действия и пути совершенствования гидроаккумулирующих систем.

Ключевые слова: гидросистема, гибрид, аккумулятор, управляемая муфта.

ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН І ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ

Л.А. Хмара, проф., д.т.н., Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, м. Дніпропетровськ, А.П. Холодов, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Проаналізовано існуючі досягнення в галузі створення гідроаккумуляуючих систем і машин з гібридними силовими установками. Розглянуто можливості створення енергозберіжних будівельно-дорожніх машин циклічної і безперервної дії та шляхи вдосконалення гідроаккумуляуючих систем.

Ключові слова: гідросистема, гібрид, акумулятор, керована муфта.

PROSPECTS FOR CREATING ENERGY-EFFICIENT ROAD BUILDING MACHINES AND IMPROVEMENT OF PUMPED HYDROSTORAGE SYSTEMS

L. Khmara, Prof., Dr., Eng. Sc., Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipropetrovsk, A. Kholodov, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc., Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Existing achievements in creating pumped hydrostorage systems as well as vehicles with hybrid power plants have been analyzed. Possible development of energy-efficient road building machines of cyclic and continuous action, and ways to improve the pumped hydrostorage systems have been considered.

Key words: hydraulic system, hybrid, storage battery, controllable coupling.

Введение

Гибридные силовые установки получили широкое развитие на автомобильном транспорте. Это связано с мировой тенденцией поиска альтернативных источников энергии,

снижения расхода топлива и повышения экологичности автомобилей. По прогнозам компании Bosch, в 2010 г. на автомобильном рынке появится около 50 различных гибридных моделей машин. Их доля будет постоянно расти: от 1 % в 2010 г. до 5 % в 2025 г.,

что составит порядка 4 млн автомобилей. О чем свидетельствуют и данные компании Toyota по количеству выпущенных фирмой легковых автомобилей с гибридными силовыми установками (рис. 1).

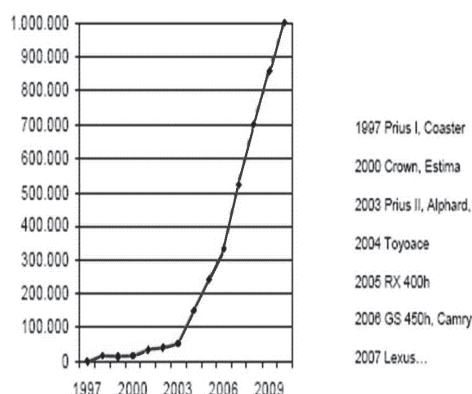


Рис. 1. Данные по количеству выпущенных автомобилей с гибридными силовыми установками

В дорожном хозяйстве, которое является потребителем значительного количества топлива и электроэнергии, развитие гибридных силовых установок протекает менее интенсивно. Отдельные предприятия дорожного хозяйства не велики, но из-за их многочисленности суммарное потребление топливно-энергетических ресурсов в отрасли значительно. В связи с этим гибридизация дорожно-строительных машин также является актуальной.

Анализ публикаций

Одним из перспективных способов повышения топливной экономичности дорожно-строительных машин как циклического, так и непрерывного действия является создание гибридных машин и силовых установок.

В настоящее время известны различные гибриды:

- электрические – на основе электродвигателей и электроаккумуляторов;
- термогидравлические – на основе совместной работы ДВС и гидросистемы;
- тепловые – на основе тепловых аккумуляторов;
- гидроаккумулирующие – на основе гидропневмоаккумуляторов.

Электрические гибриды широко используются в автомобильном транспорте и разрабатываются практически всеми известными фирмами производителями: BMW, Mercedes,

Volvo. На дорожно-строительных машинах энергосберегающие системы внедряются такими фирмами как Caterpillar, Volvo и др. В автомобиле Volvo FE Hybrid применяется гибридная силовая энергетическая установка в виде дизельного двигателя и обратимой электромашины, которые под воздействием системы управления могут работать как вместе, так и отдельно. При этом переключение между режимами работы осуществляется автоматически соответствующими элементами системы управления. Силовая энергетическая установка (рис. 2) транспортного средства нового поколения Volvo FE Hybrid включает в себя: дизельный двигатель *D*; сцепление; коробку перемены передач (КПП) I-Shift (*I*); систему MDS в виде обратимого электротехнического комплекса, сочетающего в своей основе функциональные возможности стартера (электродвигателя *G* постоянного тока) и генератора *E*; блок PMU управления энергетической установкой, координирующий работу её основных частей; блок *B* аккумуляторов.

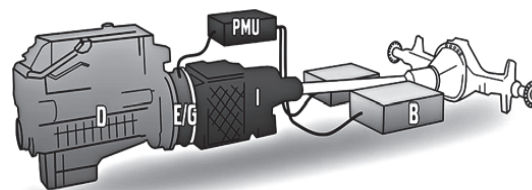


Рис. 2. Схема гибридного привода Volvo

Экономичность и надёжность эксплуатации автомобиля Volvo FE Hybrid, а также его безопасность для внешней среды свидетельствуют об эффективности гибридной технологии, используемой в его конструкции.

Для мобильных машин и экскаваторов разработаны термогидравлические агрегаты (рис. 3, 4), которые позволяют снизить энергопотребление на 30 %.

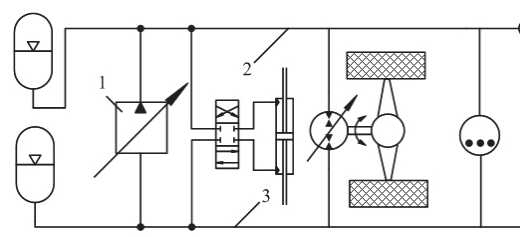


Рис. 3. Схема установки термогидравлического агрегата на транспортное средство: 1 — термогидравлический агрегат; 2 — силовой контур гидросистемы; 3 — обратный контур гидросистемы

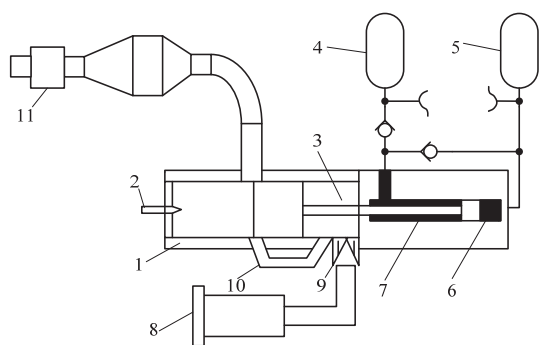


Рис. 4. Схема термогидравлического агрегата со свободным поршнем: 1 – цилиндр двигателя внутреннего сгорания; 2 – топливная форсунка; 3 – продувочный объем цилиндра двигателя; 4 – низкое давление жидкости; 5 – высокое давление жидкости; 6 – зона высокого давления; 7 – кольцевая зона; 8 – воздушный фильтр; 9 – мембранный клапан; 10 – переходной канал газов; 11 – выхлопная труба с глушителем

Ранее авторами были предложены гидроаккумулирующие системы (рис. 5) для землеройно-транспортных машин циклического действия, позволяющие накапливать гидравлическую энергию на холостых ходах машин и возвращать ее на нагруженных режимах копания.

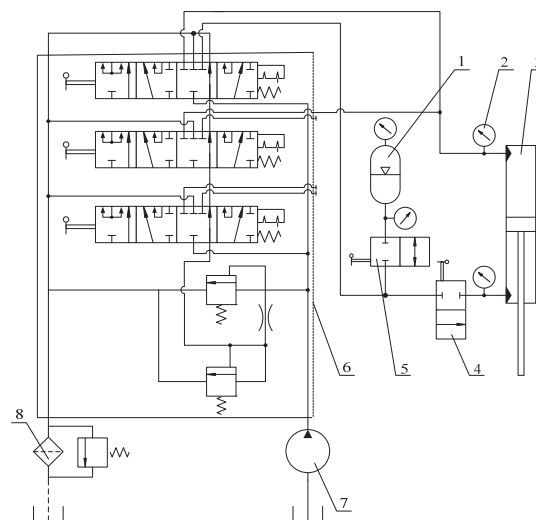


Рис. 5. Модернизированная гидросхема бульдозера: 1 – гидропневмоаккумулятор; 2 – датчик давления (ПД 10/2 УХЛ 3.1); 3 – гидроцилиндр; 4, 5 – гидрораспределитель (тип Ду 10); 6 – гидрораспределитель (тип P75); 7 – насос (тип НШ); 8 – фильтр

Гидроаккумулирующая система перераспределяет силовые потоки в течение рабочего цикла машины, тем самым перераспределяя затраты мощности первичного двигателя, следовательно, снижая расход топлива (рис. 6, 7).

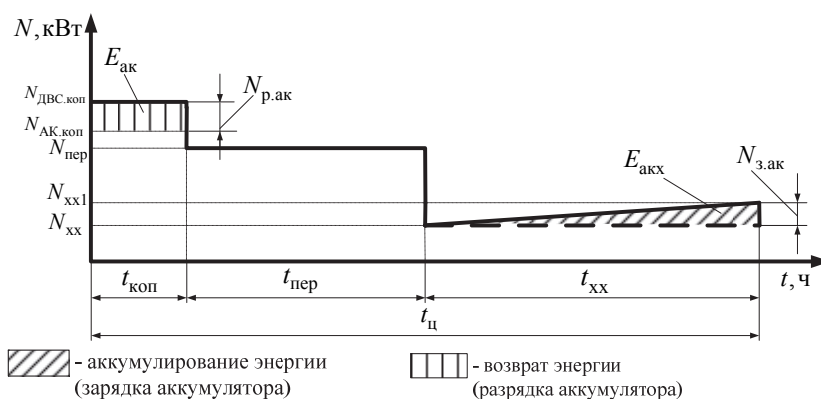


Рис. 6. Циклограмма рабочего процесса бульдозера с использованием гидроаккумулирующей системы: $E_{ак}$ – энергия, затрачиваемая аккумулятором на этапе копания; $N_{р.ак}$ – мощность, затрачиваемая аккумулятором на этапе копания; $E_{акх}$ – энергия, аккумулируемая на холостом ходу; $N_{з.ак}$ – мощность, аккумулируемая на холостом ходу; $N_{ДВС.коп}$ – мощность ДВС на операции копания без использования гидроаккумулирующей системы; $N_{АК.коп}$ – мощность ДВС на операции копания с использованием гидроаккумулирующей системы; $N_{пер}$ – мощность ДВС на перемещение грунта; $N_{хх1}$ – мощность, затрачиваемая на холостом ходу при использовании гидроаккумулирующей системы; $N_{хх}$ – мощность, затрачиваемая на холостом ходу без использования гидроаккумулирующей системы; $t_{коп}$ – время копания грунта; $t_{пер}$ – время операции перемещения грунта; $t_{хх}$ – время холостого хода; $t_{ц}$ – время рабочего цикла

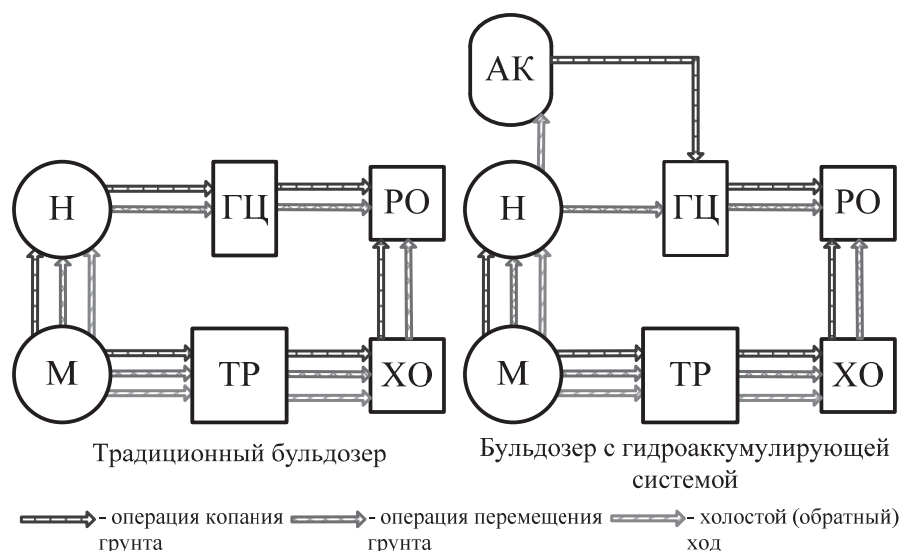


Рис. 7. Схема потоков энергии силовой установки бульдозера во время рабочего цикла: а – бульдозера традиционного исполнения; б – бульдозера с гидроаккумулирующей системой; М – двигатель; ТР – трансмиссия бульдозера; Н – гидронасос; ГЦ – гидроцилиндр; РО – рабочее оборудование; АК – аккумулятор

В дорожно-строительной отрасли используется множество машин непрерывного действия, которые не имеют выраженного холостого хода при разработке траншеи и которые также нуждаются в повышении топливной экономичности.

Пути развития гидроаккумулирующих систем

Данную проблему можно решить путем установки таких гибридных силовых установок, а именно гидроаккумулирующей системы. Данная система позволяет аккумулировать гидравлическую энергию на недогруженных (транспортных) режимах работы машин непрерывного действия, а затем использовать накопленную энергию для привода гидрооборудования.

Рассмотрим на примере работу траншеекопателя (рис. 8).



Рис. 8. Общий вид траншейного экскаватора ЭТЦ-1609

Развитие гидроаккумулирующих систем возможно и в виде многокаскадных систем. Например, для гидравлических экскаваторов система состоит из нескольких гидропневмоаккумуляторов с различным уровнем зарядки для привода каждого из механизмов: гидроцилиндра управления ковшом, гидроцилиндра управления рукоятью и гидроцилиндра управления стрелой.

При использовании гидроаккумулирующей системы в рабочем цикле экскаватора произойдет перераспределение потоков энергии (рис. 9, 10) и изменится поэтапный расход мощности двигателя.

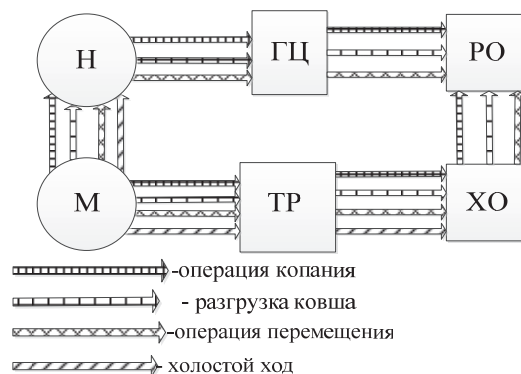


Рис. 9. Схема потоков энергии силовой установки экскаватора во время рабочего цикла: М – двигатель; Н – насос; ТР – трансмиссия; ГЦ – гидроцилиндры; РО – рабочее оборудование; ХО – ходовое оборудование

При использовании гидроаккумулирующей системы в рабочем цикле экскаватора произойдет перераспределение потоков энергии и изменится поэтапный расход мощности двигателя.

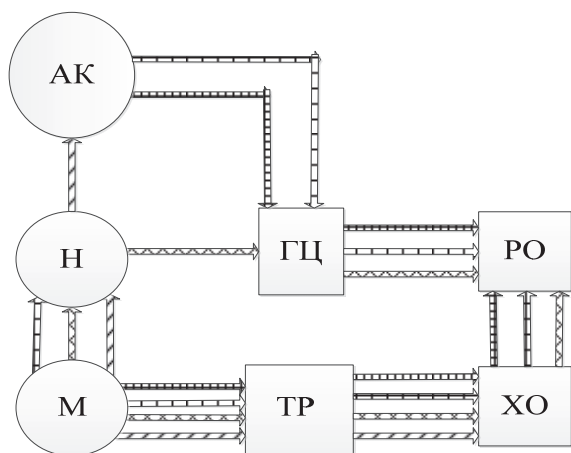


Рис. 10. Схема потоков энергии силовой установки экскаватора во время рабочего цикла с гидроаккумулирующей системой: М – двигатель; Н – насос; ТР – трансмиссия; ГЦ – гидроцилиндры; РО – рабочее оборудование; ХО – ходовое оборудование; АК – аккумулятор

Графики распределения средней мощности силовой установки экскаватора при копании грунта в течение цикла представлены на рис. 11.

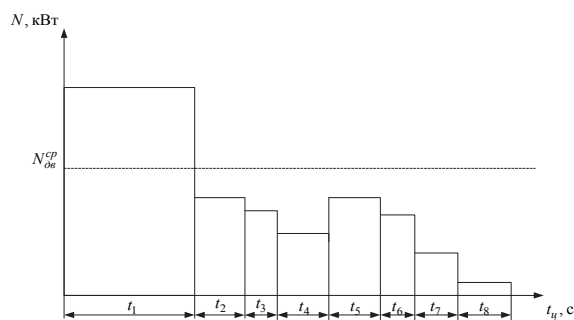


Рис. 11. Диаграмма распределения средней мощности силовой установки экскаватора при копании грунта в течение цикла: t_1 – копание грунта; t_2 – разгон платформы при повороте на выгрузку; t_3 – равномерное движение при повороте на выгрузку; t_4 – торможение платформы при повороте на выгрузку; t_5 – разгон платформы при повороте в забой; t_6 – равномерное движение при повороте в забой; t_7 – торможение платформы при повороте в забой; t_8 – опускание рабочего оборудования

Наиболее нагруженным режимом работы является процесс копания, во время которого затраты мощности могут достигать уровня максимальной мощности двигателя внутреннего сгорания (ДВС). В режиме холостого хода экскаватора его ДВС использует лишь незначительную долю мощности для обеспечения работы механизма перемещения. Предлагается аккумулирование доли мощности ДВС путем преобразования в гидравлическую энергию за счет накопления ее в гидропневмоаккумуляторе (ГПА). Использование гидроаккумулирующей системы на экскаваторе позволит снизить среднюю мощность силовой установки (рис. 12).

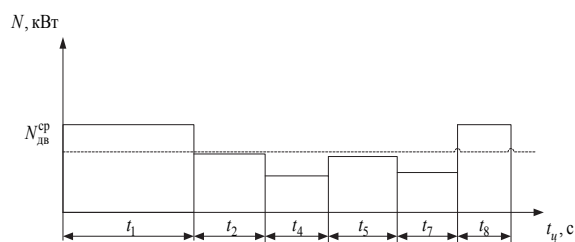


Рис. 12. Диаграмма распределения средней мощности силовой установки экскаватора с гидроаккумулирующей системой

На рис. 13 представлена гидравлическая схема экскаватора ЭО-4225А-07 с системой аккумулирования энергии.

Гидроаккумулирующая система, установленная на экскаваторе, может заряжаться тремя способами:

- при перемещении экскаватора по забою и перебазировании;
- во время поворота экскаватора от забоя к месту разгрузки;
- при опускании рабочего оборудования.

Необходимый объем жидкости в гидроаккумуляторе должен соответствовать объему, который использует гидроцилиндр РО на этапе копания. Приняв допущение, можно сказать, что объем рабочей камеры гидроаккумулятора равен объему цилиндра.

Приведенные выше гидроаккумулирующие системы можно усовершенствовать путем установки управляемой муфты между двигателем и гидронасосом, которая будет отключать гидравлический насос, когда он работает «в холостую» (рис. 14).

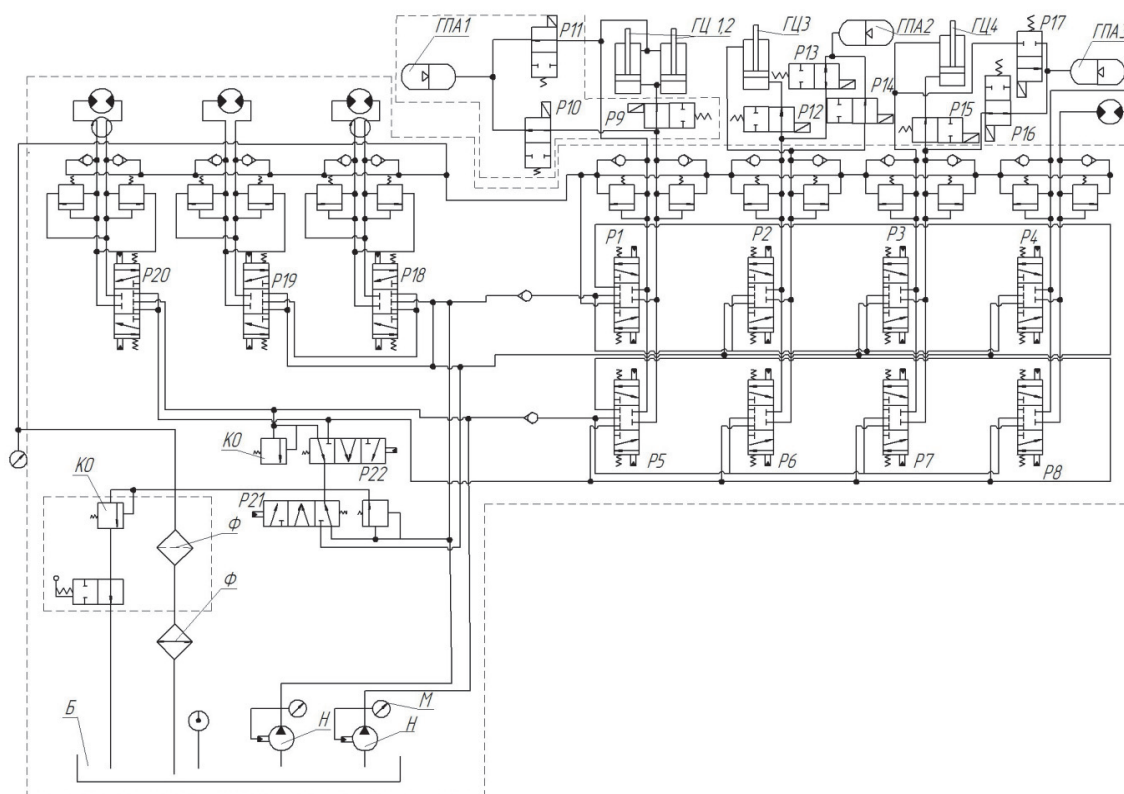


Рис. 13. Гидросхема экскаватора ЭО-4225А-07 с гидроаккумулирующей системой

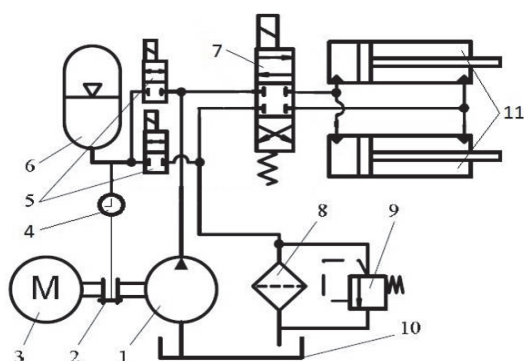


Рис. 14. Схема гидроаккумулирующей системы с управляемой муфтой: 1 – гидронасос; 2 – управляемая муфта сцепления; 3 – ДВС; 4 – датчик давления; 5 – гидрораспределители управления процессом зарядки – разрядки ГПА; 6 – гидропневмоаккумулятор; 7 – гидрораспределитель; 8 – фильтр; 9 – предохранительный клапан; 10 – бак; 11 – гидроцилиндры управления рабочим оборудованием

Принцип работы данной системы заключается в следующем: крутящий момент от ДВС (3) передаётся через управляемую муфту (2) на гидронасос (1), который подаёт гидравлическую жидкость через гидрораспределители управления процессом зарядки – разрядки (5)

в гидропневмоаккумулятор (ГПА) (6), который накапливает жидкость для работы гидроцилиндров управления рабочим оборудованием (11); так же гидронасос подаёт жидкость к гидроцилиндрам, если они используются в момент зарядки ГПА. При достижении максимального давления в ГПА датчик давления (4) подаёт сигнал на муфту сцепления, которая отключает связь между насосом и ДВС, и в дальнейшем гидроцилиндры работают от давления в ГПА, пока давление в них не опустится до минимального и датчик давления не подаст сигнал на муфту для подключения насоса.

Применение управляемой муфты в гидроаккумулирующей системе позволит снизить затраты энергии первичного двигателя, а следовательно, и расход топлива на холостых режимах работы и на нагруженных режимах с использованием гидроаккумулирующей системы.

При работе гидроаккумулирующих систем существуют режимы, когда невозможно использовать в полной мере запасы рабочей жидкости, когда внешняя нагрузка превышает существующее давление в ГПА.

Повысить давление газа при малом количестве рабочей жидкости можно путем изменения его температуры. При нагревании газ расширяется, тем самым увеличивается давление в газовой камере ГПА. Известны исследования изменения давления азота от температуры, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 Показатели повышения давления в зависимости от температуры

Температура, °C								
20	40	60	80	100	120	140	160	180
Давление, МПа								
15	16	17	19	20	21	22	23	24

Обеспечить подогрев газовой камеры можно с помощью выхлопных газов от двигателя, регулируя температуру распределительной заслонкой (рис. 15).

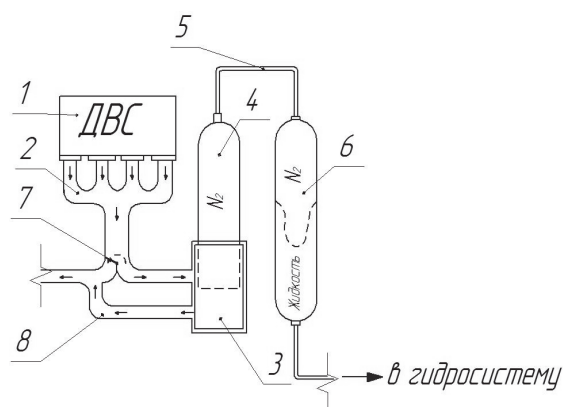


Рис. 15. Регулятор температуры гидроаккумулирующей системы: 1 – ДВС; 2 – выхлопной коллектор; 3 – теплообменник; 4 – баллон с азотом; 5 – трубопровод; 6 – ГПА; 7 – распределительная заслонка; 8 – реверсивный патрубкок

Выводы

Применение гибридных машин оправдано ценами на нефть и экологической политикой. И дальнейшее их развитие и совершенствование в области строительно-дорожных машин позволит значительно снизить выброс вредных веществ и затраты на топливо.

Литература

1. Балезин Н.М. Гибридный автомобиль Volvo FE HYBRID / Н.М. Балезин // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 2. – С. 11–14.

2. Баловнев В.И. Термогидравлические агрегаты для мобильных строительных машин и экскаваторов / В.И. Баловнев, П.В. Баловнев, Д.Г. Мороз // Механизация строительства. – 2007. – № 8. – С. 2–5.
3. Гусаков С.В. Гибридные силовые установки на основе ДВС – М.: РУДН, 2008. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Pentium 2, 400 Mhz; 32 Mb; Windows 98/2000/XP/Vista; 2 Мб на жестком диске; видеосистема 4 Мб; встроенные колонки – Режим доступа к журн.: <http://www.pfu.edu.ru/ido>.
4. Холодов А. П. Повышение эффективности рабочих процессов землеройно-транспортных машин циклического действия за счет использования гидроаккумулирующей системы: автореф. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.05.04 «Машины для земляных, дорожных и лесотехнических работ» / А. П. Холодов. – Х., 2013. – 20 с.
5. Хмара Л.А. Применение аккумуляторов потенциальной энергии в строительных машинах (на примере одноковшового экскаватора) / Л.А. Хмара // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр. – 2005. – Вып. 33. – С. 17–33.
6. Хмара Л. А. Распределение силовых потоков в рабочем цикле землеройно-транспортных машин, оснащенных гидроаккумулирующей системой / Л.А. Хмара, А. П. Холодов // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 57. – С. 166–173.
7. Холодов А. П. Аккумуляирование энергии в рабочем цикле бульдозеров / А. П. Холодов // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: всеукр. міжвід. зб. наук. пр. – 2012. – Вып. 78. – С. 63 – 68.
8. Хмара Л. А. Повышение эффективности бульдозера путем использования гидроаккумулирующей системы / Л. А. Хмара, А. П. Холодов // Строительные и дорожные машины и оборудование. – 2012. – №3. – С. 33–37.

Рецензент: А.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 16 июня 2014 г.