

## ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ГИДРОСИСТЕМАХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

А. Е. НАУМЕНКО

Научный руководитель А. М. ЩЕМЕЛЕВ, канд. техн. наук, проф.  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Могилёв, Беларусь

В настоящее время, в связи с постоянным ростом цен на топливо, при проектировании и эксплуатации строительно-дорожных машин большое внимание уделяется энергосбережению.

Одним из главных показателей конкурентоспособности является себестоимость производимой продукции. В зависимости от ряда конструктивных параметров машины и условий эксплуатации доля топлива в себестоимости продукции колеблется от 40 до 60 %. На рис. 1 представлено распределение затрат, входящих в стоимость машино-часа работы погрузчика Амкодор 333 (ТО-18Б) в ценах 2010 года, для которого затраты на топливо составляют около 40 % от общей стоимости машино-часа работы машины. Поэтому одним из основных путей повышения эффективности эксплуатации СДМ стало снижение расхода топлива на единицу получаемой продукции.



Рис. 1. Составляющие стоимости машино-часа работы погрузчика Амкодор 333 (ТО-18Б)

Одной из наиболее энергоемких систем СДМ является гидропривод. В ряде машин (экскаваторы, погрузчики) гидропривод используется не только для управления рабочим оборудованием, но и для привода ходового оборудования и рулевого управления. Однако, наряду с расширяющейся областью применения гидропривода, повышается и его энергоемкость, в результате чего на привод гидросистем затрачивается все большая часть

мощности двигателя внутреннего сгорания (в некоторых машинах, таких как экскаваторы, до 100 % мощности двигателя). Это обуславливает необходимость поиска путей снижения энергии, потребляемой гидроприводом в современных гидрофицированных строительно-дорожных машинах.

В последнее время увеличилось количество исследований в области энергосбережения гидрофицированных мобильных машин. Основные пути энергосбережения представлены на рис. 2.



Рис. 2. Пути энергосбережения в гидросистемах строительно-дорожных машин

Наиболее часто применяемым способом энергосбережения в гидроприводе является управление гидрооборудованием. Целью управления, для таких систем, является минимизация энергии потребляемой насосной станцией. Анализируя существующие системы регулирования элементов гидропривода, реализующие данную цель, можно выделить системы управления гидронасосами и совмещение рабочих операций во время работы машины.

Управление гидронасосами стало возможно при появлении регулируемых аксиально-поршневых насосов и нашло широкое применение в гидросистемах экскаваторов. На рис. 3 представлен пример такой системы [1].

Давление в напорной гидролинии 4 зависит от усилий, действующих на гидродвигатели 6. При повороте рукоятки золотника распределителя 3 на работу гидродвигателей 6 в напорной гидролинии 4 и в линиях управления регулятора мощности 3 повышается давление. В результате этого поршень регулятора мощности перемещается, преодолевая сопротивления пружины и через механическую связь уменьшает рабочий объём насосов 2, снижая тем самым подачу рабочей жидкости.

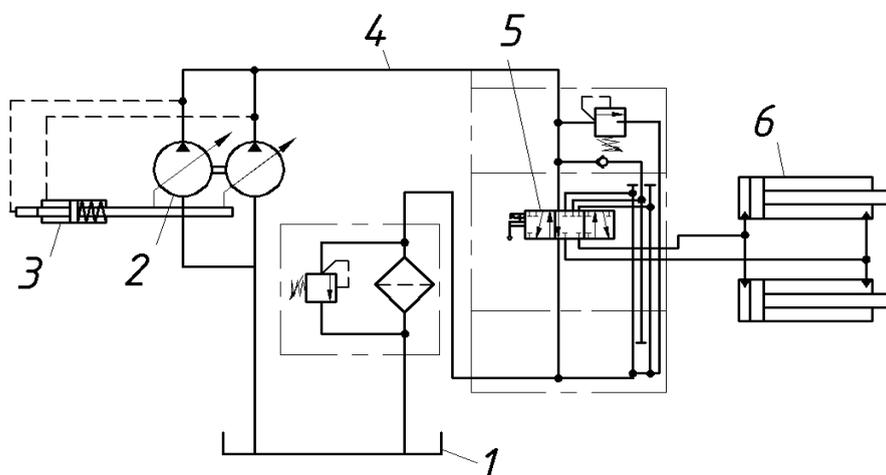


Рис. 3. Пример энергосберегающей гидросистемы за счёт управления насосов: 1 – гидробак; 2 – гидронасосы; 3 – регулятор мощности; 4 – напорная гидролиния; 5 – гидрораспределитель; 6 – гидродвигатели

Мощность, потребляемая насосами, определяется по формуле

$$N = \frac{P \cdot Q}{\eta}, \quad (1)$$

где  $P$  – давление в напорной гидролинии;  $Q$  – подача насоса;  $\eta$  – КПД насоса.

Следовательно, уменьшая подачу насоса, в те моменты, когда гидросистема работает в рабочем режиме, при увеличении усилий на гидродвигателях 6, мощность, потребляемая гидронасосами остаётся примерно неизменной при увеличении давления в напорной гидролинии 4 и уменьшении расхода гидронасосов 2.

Для некоторых строительно-дорожных машин при наборе грунта возможно совмещение рабочих операций. При совмещении операций экономия энергии происходит, прежде всего, из-за того, что рабочая жидкость подаётся из сливных полостей одних гидроцилиндров в напорные полости других гидроцилиндров, сокращая тем самым время рабочего цикла и энергию ДВС, (возможна подача рабочей жидкости, находящейся под давлением, из сливной гидролинии гидроцилиндров во всасывающую гидролинию насоса).

К таким машинам, прежде всего, относятся одноковшовые фронтальные погрузчики и одноковшовые экскаваторы. Пример такой системы для одноковшового экскаватора показан на рис. 4 [2].

В рабочий цикл одноковшового экскаватора после отсыпки грунта в транспортное средство входят операции опускания стрелы и подъёма рукояти. В представленной на рис. 4 системе, при опускании стрелы рабочая жидкость из сливных полостей гидроцилиндров стрелы 4 через блок безнасосного поворота рукояти 6 подаётся в напорную полость гидроцилиндров ковша 5, в результате чего происходит поворот рукояти.

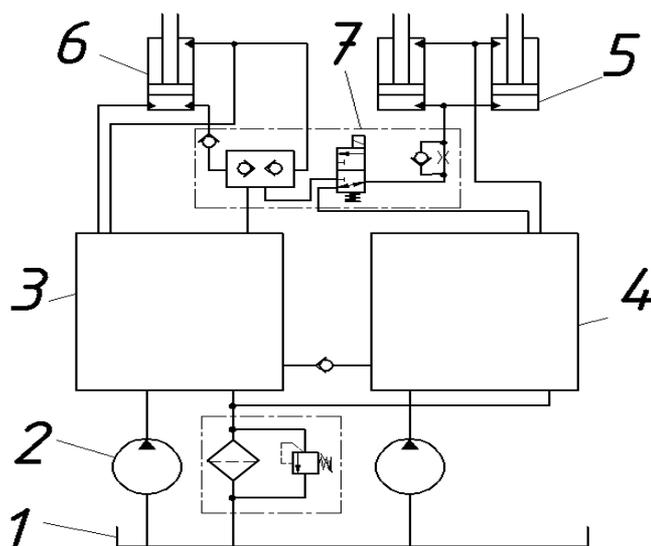


Рис. 4. Пример энергосберегающей гидросистемы одноковшового экскаватора реализующей совмещение рабочих операций: 1 – гидробак; 2 – гидронасос; 3, 4 – гидрораспределители; 5 – гидроцилиндры стрелы; 6 – гидроцилиндры рукояти; 7 – блок безнасосного поворота рукояти

Одним из направлений энергосбережения в гидроприводах строительного-дорожных машин является рекуперация энергии. В настоящее время существует множество систем использующие принцип рекуперации, который заключается в накоплении энергии за счёт действия сопутствующих нагрузок, действующих на элементы машины с последующим её расходом в наиболее энергоёмких режимах работы машины. В основном, накопление энергии в таких системах происходит за счёт инерции вращающихся масс трансмиссии при торможении машины, при опускании рабочего оборудования под действием силы тяжести и при колебаниях металлоконструкции машины и рабочего оборудования во время движения.

Примером рекуперативной системы может служить гидросистема погрузчика, представленная на рис. 5 [3]. При строительстве и реконструкции автомобильных дорог погрузчики перемещаются по рабочей площадке с неровной поверхностью, в результате чего рабочее оборудование и металлоконструкция машины испытывают большие динамические нагрузки.

При наезде машины на препятствие, качающий узел 1 подаёт рабочую жидкость из гидробака 2 в гидропневмоаккумулятор 3, заряжая его до определённого давления. При приведении в действие гидроцилиндров рабочего оборудования электромагнит гидрораспределителя 4 переключает золотник и рабочая жидкость из гидропневмоаккумулятора 3 направляется на насос-мотор 5, осуществляя тем самым его подкрутку. В период времени, когда рабочая жидкость подаётся из гидропневмоаккумулятора 3 через гидрораспределитель 4, насос-мотор 5 работает в режиме гидромотора и мощность ДВС для приведения его в действие не используется.

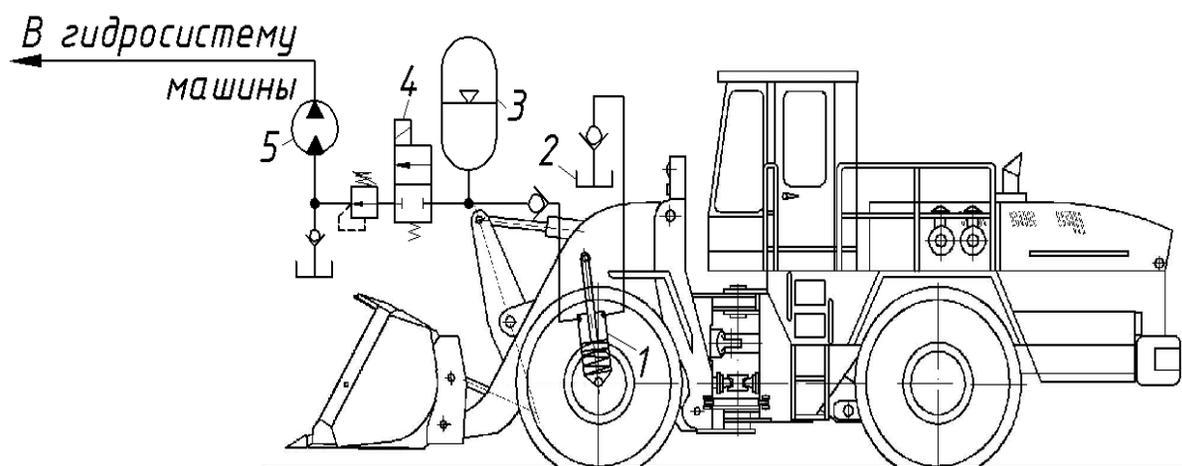


Рис. 5. Пример энергосберегающей гидросистемы использующей энергию колебания машины: 1 – качающий узел; 2 – гидробак; 3 – гидропневмоаккумулятор; 4 – гидрораспределитель; 5 – насос-мотор

В последнее время всё большее внимание уделяется снижению потерь энергии в самой гидросистеме. В существующих исследованиях можно выделить два основных направления: снижение гидравлических сопротивлений гидравлической арматуры и регулирование температуры рабочей жидкости.

Первое направление касается снижения сопротивлений гидравлической арматуры за счёт совершенствования её формы и снижения шероховатости поверхности.

Например, в строительной-дорожной технике произведенной в Японии внутренние поверхности трубопроводов покрываются пластмассой, что снижает шероховатость поверхности и коэффициент гидравлического сопротивления трубопровода, что приводит к снижению потерь энергии.

В настоящее время тройники и угольники, являющиеся элементами гидравлической арматуры, изготавливаются сверлением. При этом в этих элементах имеются в наличии острые кромки, на которых происходит срыв потока жидкости и образуется зона разрежения, которая увеличивает коэффициент гидравлического сопротивления элемента (рис. 6, а), где показано распределение давления по среднему сечению угольника. При выполнении гидравлических элементов литьем переход между входным и выходным отверстием плавный, срыв потока отсутствует, и коэффициент гидравлического сопротивления снижается (рис. 6, б) [4].

Второе направление снижения потерь энергии в гидросистеме – регулирование температуры рабочей жидкости.

Потери энергии в гидросистеме можно разделить на потери энергии на преодоление внутренних сопротивлений гидравлической арматуры и потери энергии за счёт объёмных потерь рабочей жидкости (внутренних перетечек в гидроаппаратах). И первый, и второй вид потерь энергии име-

ют существенную зависимость от температуры (вязкости) рабочей жидкости. Однако, если потери энергии на преодоление внутренних сопротивлений с увеличением температуры уменьшаются, то объёмные потери энергии наоборот увеличиваются.

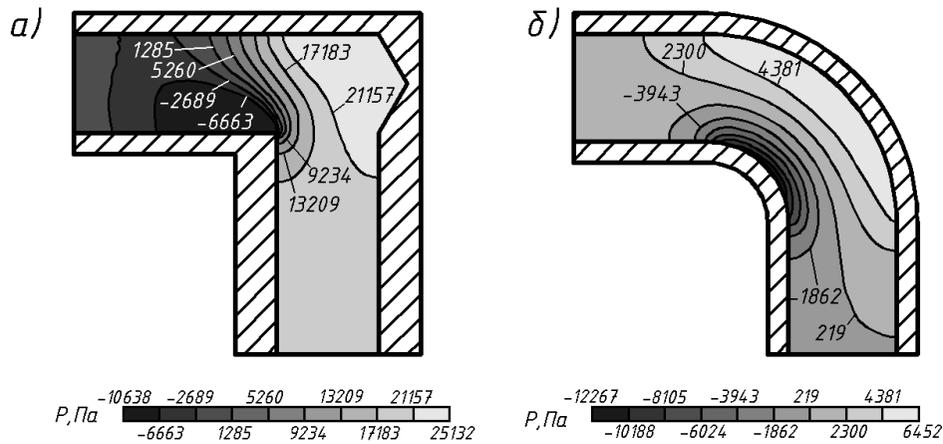


Рис. 6. Угольник: а – исполнение сверлением; б – исполнение литьём

В холодное время года, в начале рабочей смены температура рабочей жидкости в гидробаке равна температуре окружающей среды. После запуска машины температура рабочей жидкости повышается за счёт трения рабочей жидкости о стенки трубопроводов и гидроаппаратов. Потери мощности в гидросистеме при этом также изменяются (рис. 7).

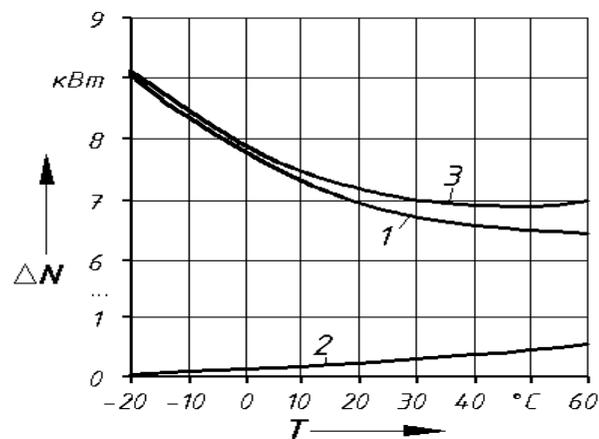


Рис. 7. Зависимость среднецикловых потерь мощности в гидросистеме погрузчика МоАЗ-4048 от температуры рабочей жидкости при использовании рабочей жидкости типа МГ-15Б (АМГ-10): 1 – среднецикловые потери мощности на преодоление внутренних сопротивлений; 2 – среднецикловые потери мощности за счёт перетечек рабочей жидкости; 3 – среднецикловые суммарные потери мощности

Время нагрева рабочей жидкости гидросистемы до рабочей температуры достигает примерно двух часов. В условиях низких температур окружающей среды, в начале смены машина будет работать с низкой температурой рабочей жидкости, а потери энергии в гидросистеме, достигают

значительной величины. В начале работы машины после длительной остановки целесообразно производить подогрев рабочей жидкости. В настоящее время известно из публикаций и патентных материалов следующие способы подогрева рабочей жидкости: подогрев способом дросселирования; подогрев электрическим ТЭНом; подогрев при помощи выхлопных газов ДВС.

Анализ этих способов подогрева показал, что наиболее экономичным и применимым на всех строительно-дорожных машинах является способ подогрева при помощи выхлопных газов ДВС.

Применение рассмотренных путей энергосбережения в гидроприводе позволяет получить экономию топлива, потребляемого машиной за смену, в пределах, показанных на диаграмме, представленной на рис. 8.

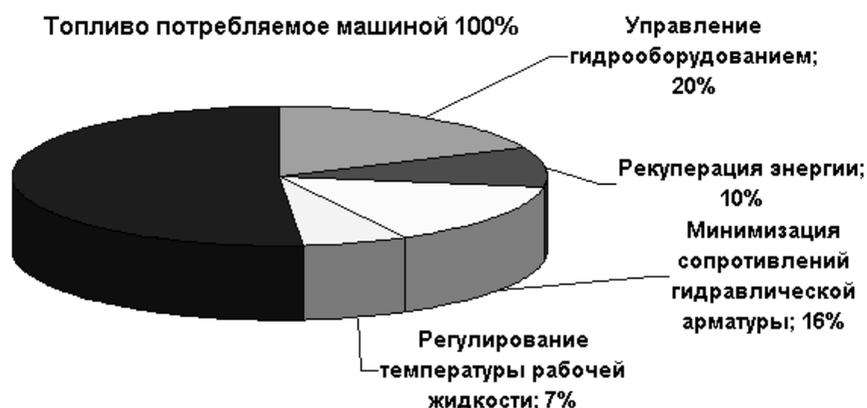


Рис. 8. Возможность снижения топлива потребляемого машиной при применении энергосберегающих систем

Учитывая, что для большинства строительно-дорожных машин суточный расход топлива составляет около 80...140 л в сутки, применение рассмотренных путей энергосбережения на строительно-дорожных машинах позволяет существенно сократить затраты на топливо, снизив тем самым себестоимость единицы продукции примерно на 12...18 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркман, И. Л. Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы / И. Л. Беркман, А. В. Раннев, Ф. К. Рейш. – М. : Высшая школа, 1997. – 338 с.
2. Щемелев, А. М. Проектирование гидропривода машин для земляных работ : учеб. пособие / А. М. Щемелев. – Могилев: ММИ, 1995. – 322 с.
3. Лесковец, И. В. Обоснование и выбор основных параметров системы энергосбережения одноковшового фронтального пневмоколесного погрузчика: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.04 / И. В. Лесковец; Мог. машин. инст. – Могилев, 1997. – 24 с.
4. Щемелев, А. М. Снижение энергопотребления в гидравлической арматуре строительных и дорожных машин / А. М. Щемелев, А. Д. Бужинский, А. Е. Науменко // Строительные и дорожные машины. – 2007. – №8. – С. 16–20.