

А.П. ХОЛОДОВ, ассистент.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ БУЛЬДОЗЕРОВ

Актуальность проблемы. В данной статье рассматривается проблема использования гидроаккумулирующих систем на бульдозерах. Под гидроаккумулирующей системой автор понимает совокупность гидравлического оборудования, включающего гидропневмоаккумулятор и гидрораспределительную аппаратуру, обеспечивающие зарядку аккумулятора на холостом (обратном) ходу машины и ее возврат на нагруженных режимах работы.

Анализ публикаций. В современном мире наиболее важными требованиями предъявляемыми к дорожно-строительной технике, и технике в общем, являются экономичность и производительность. Обеспечить данные требования можно путем использования аккумуляторов энергии.

По своему устройству аккумуляторы, которые предлагаются к использованию в машиностроении, могут быть объединены в следующие группы: механические (грузовые, пружинные и др.) [5]; гидравлические [7, 8]; пневматические [5]; электрические; химические и тепловые аккумуляторы [1].

Однако, для землеройно-транспортных машин цикличного действия, режим работы гидропривода которых характеризуется резковыраженной цикличностью, наиболее целесообразно устанавливать гидропневматический аккумулятор простой по конструкции, компактный и удобный в эксплуатации автономных гидросистем [7, 8].

Цель и постановка задачи. Целью работы является повышение эффективности бульдозеров за счет аккумуляции энергии, накопленной в гидроаккумулирующей системе на холостом (обратном) ходу машины, для увеличения производительности за счет снижения длительности цикла и снижения расхода топлива за счет использования накопленной энергии на режиме копания.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– на основе существующих теоретических исследований ЗТМ и на основе проведенных экспериментальных исследований гидроаккумулирующих систем [2, 3, 4] установить характер расхода мощности ДВС бульдозера с учетом использования гидроаккумулирующей системы;

– разработать теоретическое обоснование применения гидроаккумулирующих систем на бульдозерах.

Расчетные схемы бульдозеров с системой аккумулирования энергии. В рабочем цикле бульдозера во время операции копания мощность ДВС распределяется на гидросистему для привода рабочего оборудования и на трансмиссию (рис. 1.)

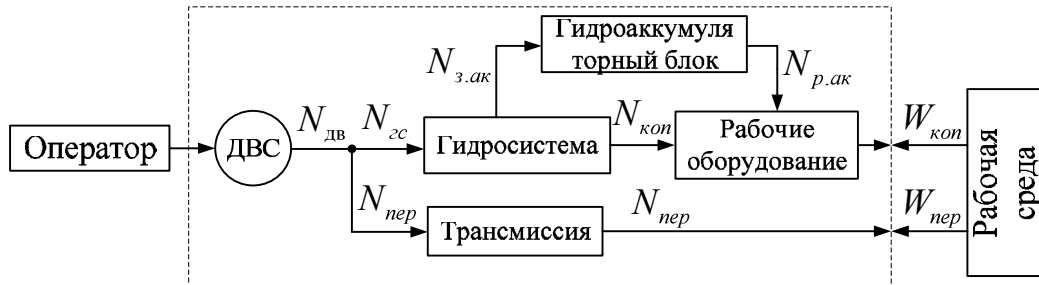


Рис. 1. Система «оператор – бульдозер рабочая – среда».

$$N_{\text{ДВС.коп}} = N_{\text{тр}} + N_{\text{гс}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{тр}}$ – мощность, затрачиваемая на трансмиссию; $N_{\text{гс}}$ – мощность, затрачиваемая на гидросистему.

Отношение мощности гидропривода к общей мощности двигателя характеризуется коэффициентом β

$$\beta = \frac{N_{\text{ДВС}}}{N_{\text{гс}}}. \quad (2)$$

Коэффициент, δ характеризующий использование гидропривода по времени $t_{\text{гс}}$ по отношению к общему времени работы машины $t_{\text{м}}$

$$\delta = \frac{t_{\text{гс}}}{t_{\text{м}}}. \quad (3)$$

Представим распределение мощности на операции копания следующим образом:

Для определения мощности, которую необходимо передать гидросистеме на операции копания для эффективной работы необходимо знать сопротивление, которое нужно

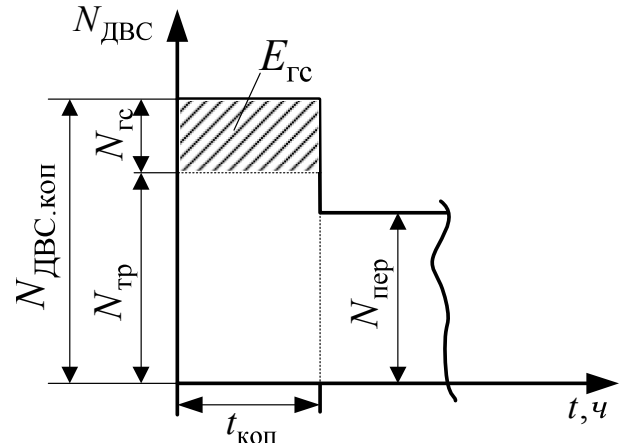


Рис. 2. Распределение мощности на операции копания: $E_{\text{гс}}$ – энергия, расходуемая гидросистемой в процессе копания; $N_{\text{гс}}$ – мощность, которую ДВС затрачивает на гидросистему; $N_{\text{ДВС.коп}}$ – мощность расходуемая ДВС на этапе копания; $N_{\text{тр}}$ – мощность, которую затрачивает ДВС на привод ходового оборудования; $N_{\text{пер}}$ – мощность затрачиваемая на операции перемещения грунта; $t_{\text{коп}}$ – время копания.

преодолеть гидросистеме при копании грунта.

Сопротивление, которое необходимо преодолеть гидросистеме при углублении отвала в грунт. Если рассмотреть составляющие общего тягового сопротивления

$W_{з.т.о.}$, действующие на машину в ее рабочем цикле, то эти составляющие можно разделить на сопротивление, действующие на

трансмиссию и сопротивление, действующие на гидросистему машины. Приняв допущение, что физико-механические свойства грунта, углы установки исполнительного оборудования остаются переменными запишем опоры, которые относятся к действующим на гидросистему:

сопротивление копанию грунта $W_{коп}$, который зависит от свойств почвы; сопротивление наполнению отвала бульдозера $W_{н.р.о.}$; сопротивление от затупления ножей $W_{з.н.}$; инерционное сопротивление $W_{ин}$.

При условии, что бульдозер имеет поворотный отвал, необходимо учитывать сопротивление от перемещения грунта вдоль отвала $W_{гв}$

Можно записать суммарное сопротивление, которое воспринимает гидросистема:

$$W_{гс} = W_{коп} + W_{н.р.о.} + W_{ин} + W_{з.н.} + W_{гв}; \quad (4)$$

$$A = K b h / s_h, \quad (5)$$

где K – коэффициент сопротивления резанию; b – ширина отвала; h – глубина резания; s_h – путь, который проходит бульдозер до достижения глубины копания.

Для осуществления копания гидросистеме необходимо передать на шток гидроцилиндра, который кинематически связан с отвалом бульдозера, $R_{ц.з.}$ равное сопротивлению $W_{гс}$

$$R_{ц.з.} \cdot k_{кп} = W_{гс}, \quad (6)$$

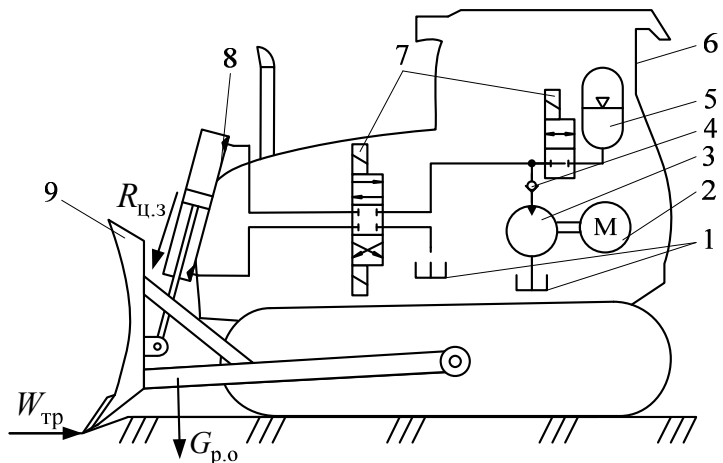


Рис. 3. Обобщенная кинематико-гидравлическая схема бульдозера, оснащенного гидроаккумулирующей системой: 1 – гидробак; 2 – ДВС; 3 – гидронасос; 4 – обратный клапан; 5 – ГПА; 6 – бульдозер; 7 – гидрораспределители; 8 – гидроцилиндр; 9 – отвал.

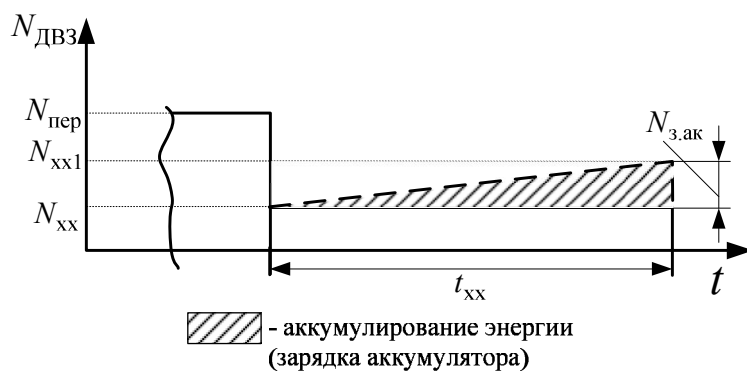


Рис. 4. Режим холостого хода бульдозера с возможностью аккумуляции энергии: $N_{з.ак}$ – мощность, затрачиваемая на зарядку ГПА; $N_{хх1}$ – мощность, затрачиваемая двигателем на режиме холостого (обратного) хода при зарядке аккумулятора.

где Q – расходы жидкости, $см^3/с$; A – рабочая площадь цилиндра.

Так как полученная мощность $N_{гс}$ должна поддерживаться на протяжении всего времени копания $t_{коп}$ грунта, то получаем энергию, которую необходимо потратить гидросистеме на операцию копания

$$E_{ак} = N_{гс} t_{коп} . \quad (9)$$

Полученную энергию можно накапливать в ГПА на холостом (обратном) ходе бульдозера и возвращать в гидросистему на этапе копания. Это позволит снизить установочную мощность двигателя до уровня необходимого на перемещение машины, что приведет к снижению расхода топлива.

В режиме холостого хода бульдозера его ДВС использует лишь незначительную долю мощности для обеспечения работы механизма перемещения. Предлагается аккумуляция доли мощности ДВС (рис. 4) путем преобразования в гидравлическую энергию за счет накопления его в гидропневмоаккумуляторе.

Мощность, накапливаемая в ГПА во время холостого хода

$$N_{з.ак} = Q_{н.а} p_{н.а} , \quad (10)$$

где $Q_{н.а}$ – подача жидкости на выходе насоса в режиме холостого хода бульдозера в период подключения насоса к ГПА; $p_{н.а}$ – давление жидкости на выходе насоса в режиме холостого хода бульдозера в период зарядки ГПА.

Накопленная энергия, которая аккумулируется в ГПА при условно линейной закономерности ее роста в гидроаккумуляторе определяется по формуле, кВт·с

где $k_{кп}$ – коэффициент, учитывающий кинематическую связь штока цилиндра с отвалом бульдозера; $R_{ц.з.}$ – усилие заглупления отвала.

Мощность, которую необходимо передать

гидросистеме при копании

$$N_{гс} = R_{ц.з.} v_{ш} , \quad (7)$$

где $v_{ш}$ – скорость перемещения штока гидроцилиндра, м/с

$$v_{ш} = Q / A , \quad (8)$$

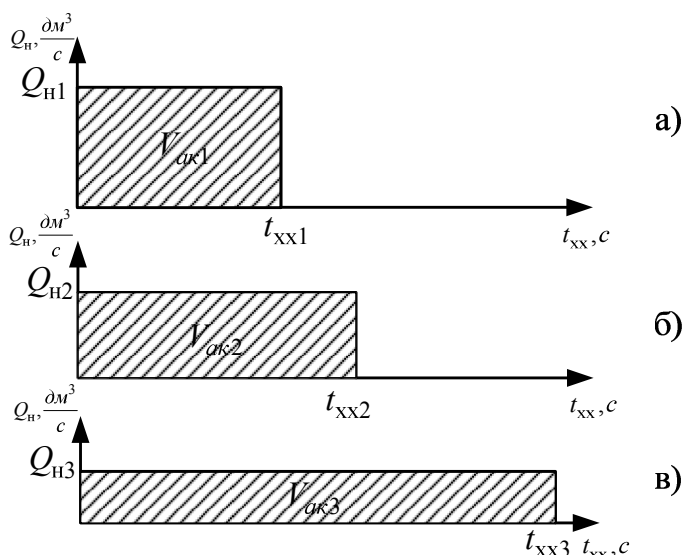


Рис. 5. Зависимость подачи насоса от продолжительности обратного (холостого) хода машины t_{xx} : а – при t_{xx1} ; б – при t_{xx2} ; в – при t_{xx3} .

$$E_{ак} = 0,5 N_{3.ак} t_{xx} . \quad (11)$$

Мощность двигателя на холостом ходу определяется N_{xx} . С учетом процесса аккумуляции энергии мощность ДВС на холостом ходу теоретически повысится на величину $N_{ак}$. То есть, за время холостого хода t_{xx} гидронасос должен обеспечить такую подачу Q_n , чтобы подать объем жидкости равный объему гидроаккумулятора $\Delta V_{ак}$.

$$Q_n t_{xx} = \Delta V_{ак} = const . \quad (12)$$

Запишем формулу для мощности ДВС на холостом ходу с зарядкой ГПА.

$$N_{ДВЗ_{xx}} = N_{xx} + N_{н.ак} , \quad (13)$$

где $N_{н.ак}$ – мощность, которую должен развить насос для зарядки ГПА.

$$\Delta V = \frac{Q_n t_{xx}}{\eta_n} . \quad (14)$$

Откуда выразим необходимую подачу насоса на этапе зарядки ГПА

$$Q_n = \frac{\Delta V \eta_n}{t_{xx}} ; \quad (15)$$

$$n_n = \frac{1000 Q_n}{q} , \quad (16)$$

где q – рабочий объем насоса, указываемый в его характеристике.

Подставив (15) в (17) получим частоту оборотов вала гидронасоса для обеспечения подачи необходимого объема жидкости в ГПА за время холостого хода.

$$n_n = 1000 \frac{\Delta V \eta_n}{q t_{xx}} . \quad (17)$$

Получаем выражение для определения мощности затрачиваемой ДВС на холостом ходу для бульдозера с гидроаккумулирующей системой

$$N_{ДВЗ_{xx}} = W_{пер.м.} \vartheta_{xx} + q n_n p_n . \quad (18)$$

При использовании гидроаккумулирующей системы возможен режим работы ДВС с постоянной заданной мощностью.

$$N_{ДВЗ} = N_{РО} + N_{П} + N_{НГА} = const, \quad (19)$$

где $N_{ДВЗ}$ – эффективная мощность первичного двигателя; $N_{РО}$ – мощность затрачиваемого на рабочее оборудование в процессе копания грунта; $N_{П}$ – мощность, которая расходуется механизмом передвижения машины; $N_{НГА}$ – неиспользованная мощность на которой работает насос, и которая накапливается непосредственно гидроаккумулятором.

Рассмотрим каждую составляющую отдельно. Переменная мощность, затрачиваемого рабочим оборудованием в процессе копания грунта отвалом

$$N_{РО} = \frac{v_{ш} \cdot P_{ц.з.}}{\eta_{мк}}, \quad (20)$$

где $v_{ш}$ – скорость перемещения штока гидроцилиндра; $P_{ц.з.}$ – усилие развиваемое штоком гидроцилиндра; $\eta_{мк}$ – КПД механизма копания.

Переменная мощность, которая используется механизмом передвижения бульдозера:

$$N_{П} = \frac{M \cdot \omega}{\eta_{мн}}, \quad (21)$$

где M – момент на валу гидромотора; ω – угловая скорость; $\eta_{мн}$ – КПД механизма передвижения.

Мощность двигателя

$$N_{ДВЗ} = G_T \cdot I \cdot \eta_{ДВЗ}, \quad (22)$$

где G_T – расход топлива ДВС; I – теплотворная способность топлива; $\eta_{ДВЗ}$ – общий КПД ДВС.

Переменная мощность, создаваемая гидроаккумуляторной системой:

$$N_{Н2} = P_a \cdot V_k \cdot n, \quad (23)$$

где P_a – давление в гидроаккумуляторе; V_k – объем рабочей камеры насоса; n – частота вращения вала насоса.

Выводы. Разработана теория поведения ДВС бульдозера на холостом (обратном) ходу, позволяющая определить затраты мощности на данном этапе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмара Л. А. Применение аккумуляторов потенциальной энергии в строительных машинах (на примере одноковшового экскаватора) / Л. А. Хмара / Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. науч. тр. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – Днепропетровск: ПГАСА, – 2005. – Вып. 33. – С.17-33.
2. Хмара Л.А. Повышение эффективности бульдозеров путем использования гидроаккумулирующей системы / Л.А. Хмара, А.П. Холодов // Строительные и дорожные машины – 2012 – № 3 – С. 33-37.
3. Хмара Л. А. Испытания бульдозера с системой аккумулялирования энергии / Л.А. Хмара, А.П. Холодов // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – 2011 – № 63 – Днепропетровск: ВГУЗ ПГАСА. – С. 61-69.
4. Гулиа Н. В. Инерционные двигатели для автомобилей. / Н.В. Гулиа – М.: Транспорт, 1974. – 64 с.
5. Волоцкий В.М. Гидроприводы машин и их оборудование. Учебный курс. / В.М. Волоцкий. – Х.: Гидроэлек, 1995. – 156 с.
6. Использование принципа аккумулялирования энергии в системе управления землеройно-транспортной машины / Т.В. Алексеева, Ю.В. Ремизович, В.Г. Шерман // Исследования и испытания дорожных и строительных машин: Сб. науч. работ СибАДИ. – 1969. – Вып. 1. – С. 70-75.
7. Щербаков В.Ф. Рекуперативная система привода гидроподъемных машин / В.Ф Щербаков // Строительные и дорожные машины.– 2008.– № 9.– С. 49-51
8. Щербаков В.Ф. Энергосберегающие гидроприводы строительных и дорожных машин / В.Ф. Щербаков // Строительные и дорожные машины.– 2011.– № 10.– С. 1-2.

УДК 621.878.25

Л. А. ХМАРА, докт. техн. наук, О. О. ДАХНО, інж.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ТЕЛЕСКОПІЧНЕ РОБОЧЕ ОБЛАДНАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ЕКСКАВАТОРА, ОЦІНКА ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ КОПАННЯ ҐРУНТУ

Актуальність питання. В теперішній час, у зв'язку з підвищенням об'ємів земляних робіт, збільшились і об'єми виробництва машин та різноманітного робочого обладнання для цих робіт. Одним із головних напрямів удосконалення будівельних гідравлічних екскаваторів є збільшення продуктивності, зниження енерговитрат на розробку ґрунту,