

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНОГО ПРИВОДА ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

Эвентов П. С.

Научный руководитель доктор технических наук Павлов В. П.  
*Сибирский федеральный университет*

Экскаватор – машина циклического действия. Процессы разгона платформы и ее замедления составляют значительную (до 70 %) часть рабочего цикла. Рассматривая эти данные рабочие процессы, следует отметить, что вначале происходит накопление кинетической энергии, затем уменьшение. Большая часть энергии рассеивается в механизме поворота платформы в процессе торможения. Такую энергию можно использовать также путем рекуперативного торможения. На базе теоретической модели решается задача выбора параметров накопителя энергии в физически разнородных системах: маховики, гидропневмоаккумуляторы и электрические конденсаторы.

Предлагается использовать момент вращения платформы  $M_m$  в процессе ее торможения в качестве накопителя энергии, как противодействие моменту  $M_p$ , разгоняющему платформу. Для этого проанализируем существующие накопители. На первых этапах исследования и проектирования к накопителям энергии предъявляются следующие требования: должен накапливать большое количество энергии (быть энергоемким); иметь не большую массу и размеры. В дальнейшем к этим показателям добавятся стоимость изготовления, прост в обслуживании и др. Произведем анализ энергоемкости для всех размерных одноковшовых экскаваторов и сравним механические накопители энергии в виде маховиков с пневмогидравлическими накопителями и конденсаторами.

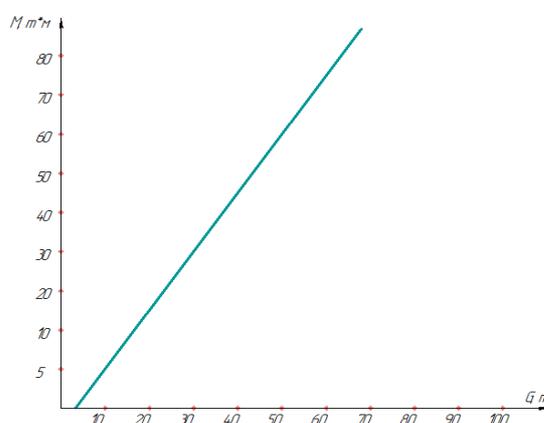


Рисунок 1 – График зависимости максимального момента сцепления  $M_{сц}$  гусеничного движителя с грунтом от массы экскаватора по Н.Г. Домбровскому

Анализ начнем с механических накопителей энергии. На рисунке 1 представлен график зависимости максимального момента сцепления  $M_{сц}$  гусеничного движителя с грунтом, обеспечивающего устойчивость машины, от массы экскаватора (по Н.Г. Домбровскому).

По условию устойчивости экскаватора момент вращения поворотной платформы, разгоняющий или тормозящий, будет ограничиваться моментом сил сцепления  $M_{сц}$  опорной поверхности ходового оборудования экскаватора с грузом:

$$M_{пл} \geq kM_{сц},$$

где  $k = 0,7 \pm 0,75$  – коэффициент ограничения моментов. При расчете момента поворотной платформы  $M_{пл}$  будем принимать  $k = 0,75$ .

Найдем для каждой размерной группы собственный момент сцепления  $M_{сц}$  гусеничного ходового устройства, момент инерции  $J$  и энергоемкость  $E$  поворота платформы. Для заданной массы экскаваторов  $G$  соответствующих размерных групп момент инерции поворотной платформы с рабочим оборудованием ( $кг * м^2$ ):

$$J_{пл} = \frac{M}{\varepsilon},$$

где  $\varepsilon = 0,3с^{-2}$  – угловое ускорение поворотной платформы. При нахождении энергоемкости будет вполне справедливо соотношение:

$$E = \frac{J_{пл}\omega_{пл}^2}{2} = \frac{J_M\omega_M^2}{2},$$

где  $\omega_{пл} = 1,04 с^{-1}$  – угловая скорость поворотной платформы;  $J_M$  и  $\omega_M$  – момент инерции и угловая скорость маховика.

Следовательно, момент инерции маховика:

$$J_M = \frac{2E}{\omega_M^2}$$

Угловую скорость маховика будет целесообразно принять равной или меньше номинальной частоты вращения коленчатого вала для любой размерной группы экскаватора  $\omega_M \leq \omega_{об} = 2000 \div 3000 \frac{об}{мин}$ . Примем для определенности  $3000 \frac{об}{мин}$ .

Энергоемкость гидropневматических аккумуляторов равна:

$$E = p\Delta V,$$

где  $p$  – максимально допустимое давление рабочей жидкости в системе экскаватора, МПа;  $\Delta V$  – изменение объема газа (или накопленного объема жидкости),  $м^3$ .

Введем показатели удельной энергоемкости ( $\frac{Дж}{кг}$ ,  $\frac{Дж}{м^3}$ ), т.е. количество энергии, приходящейся на 1 кг и 1  $м^3$  соответственно для каждого типа накопителей:

$$E_{y\partial} = \frac{E}{m} \text{ и } E_{y\partial} = \frac{E}{V},$$

где  $m$  – масса накопителя, кг;  $V$  – объем накопителя, габаритный размер,  $м^3$ .

Маховик представим в виде обода, где центр масс сконцентрирован по его окружности. Тогда момент инерции для обода и его масса:

$$J_M = \frac{mR^2}{2},$$

$$m = \frac{2J_M}{R^2},$$

где  $R$  – радиус маховика, м  
Объем маховика:

$$V = \pi R^2 b$$

Оценки объема конденсаторов принимаются нами по фактическим их значениям для серийных изделий.

Построим график зависимости удельной энергоемкости от массы и объема накопителя. Представим на рисунке 2 и 3.

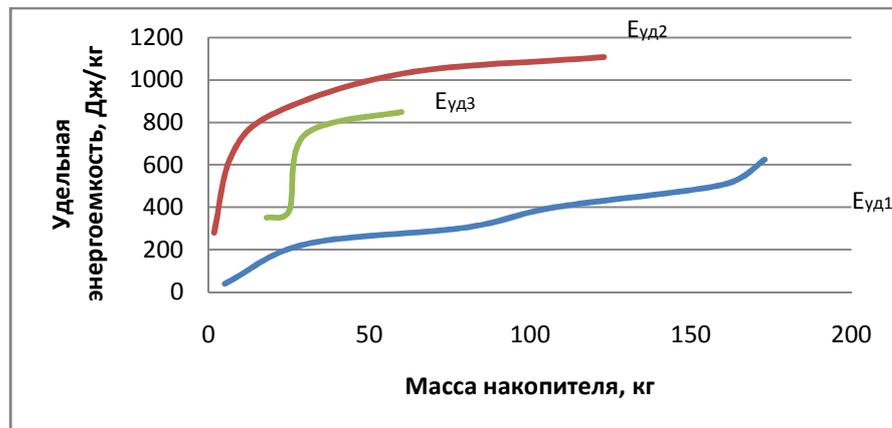


Рисунок 2 – График зависимости удельной энергоемкости от объема накопителя:  
 $E_{уд1}$  – удельная энергоемкость маховика;  $E_{уд2}$  – удельная энергоемкость пневмоаккумулятора;  $E_{уд3}$  – удельная энергоемкость конденсатора.

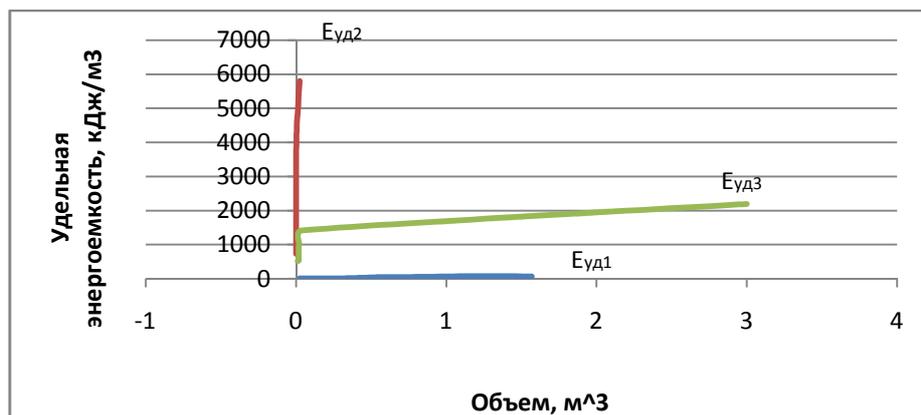


Рисунок 3 – График зависимости удельной энергоемкости от массы накопителя:  
 $E_{уд1}$  – удельная энергоемкость маховика;  $E_{уд2}$  – удельная энергоемкость пневмоаккумулятора;  $E_{уд3}$  – удельная энергоемкость конденсатора.

Энергия рекуперации поворотной платформы почти линейно зависит от типоразмера экскаватора и покрывается величиной энергоемкости накопителя для массы машины до 40 т (рисунок 4). Отобразим на этом графике прямыми максимальную энергию при массе равной  $m \leq 80$  кг каждого накопителя.

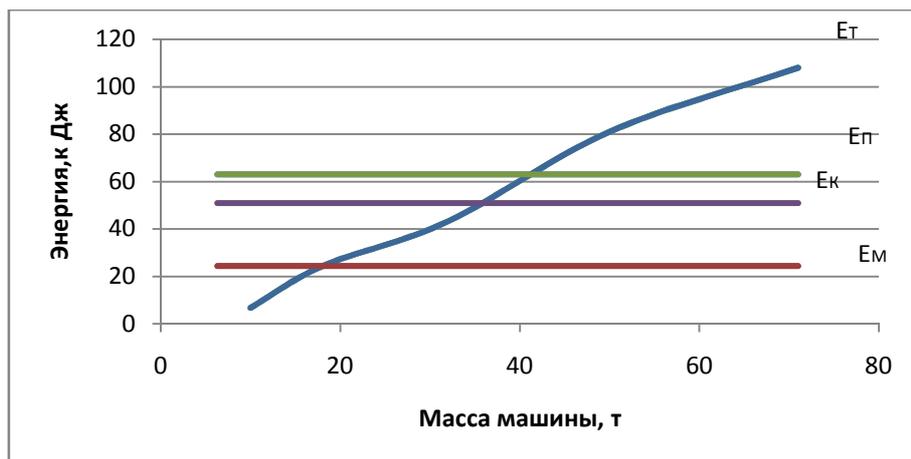


Рисунок 4 – График зависимости энергии рекуперации поворотной платформы одноковшовых экскаваторов различных типоразмеров от массы машины при ограниченной массе накопителя:  $E_T$  – энергия торможения поворотной платформы;  $E_M$  – энергия маховика;  $E_П$  – энергия пневмоаккумулятора;  $E_K$  – энергия конденсатора.

Энергию рекуперации, которую способна накопить поворотная платформа от массы машины при постоянном объеме маховика (при ограничении объема  $V \leq 0,025 \text{ м}^3$  каждого накопителя) представим его на рисунке 5.

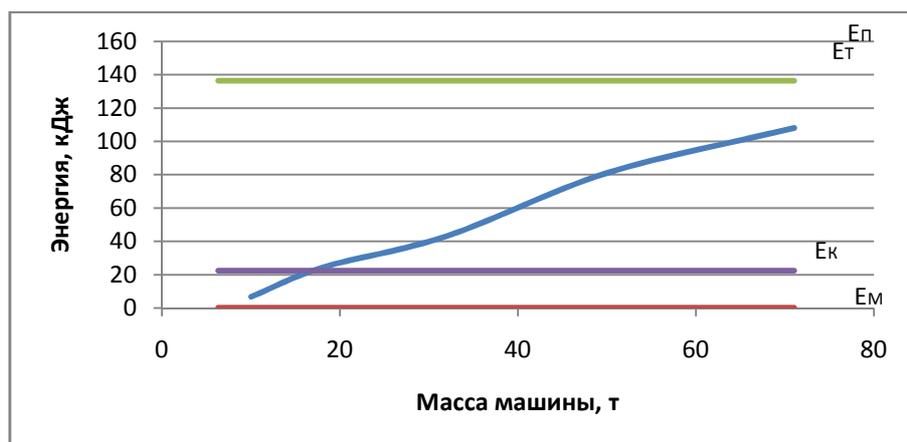


Рисунок 5 – График зависимости энергии рекуперации поворотной платформы одноковшовых экскаваторов различных типоразмеров от массы машины при постоянном объеме маховика:  $E_T$  – энергия торможения поворотной платформы;  $E_M$  – энергия маховика;  $E_П$  – энергия пневмоаккумулятора;  $E_K$  – энергия конденсатора.

По данным графиков на рисунках 2, 3, 4 и 5 можно сделать вывод, что гидропневмоаккумуляторы наиболее целесообразно применять в качестве накопителя энергии при торможении поворотной платформы в одноковшовом экскаваторе массой до 40 т. Удельные показатели на единицу массы и объема у пневмоаккумулятора предпочтительнее по отношению к конденсаторам и маховикам. При постоянных массе и объеме всех накопителей пневмоаккумуляторы накапливают больше энергии, чем остальные.