

УДК 621. 879. 002. 5. 658. 589

Я. М. Радкевич, проф., докт. техн. наук, А. Я. Савченко, канд. техн. наук, МГГУ

1. Использование энергоемкости для обобщенной оценки прочности механизмов и конструкций экскаваторов при проектировании и эксплуатации.

Обоснована возможность использования удельной энергоемкости в качестве обобщенного показателя оценки прочности основных механизмов и несущих конструкций экскаваторов.

Предложены энергетическая функциональная модель, уравнения энергетических балансов и расчетная формула показателя сопротивления разрушению для использования при расчетах прочности механизмов и несущих конструкций экскаваторов на стадии проектирования.

Рекомендовано осуществлять контроль динамики изменения показателя сопротивления разрушению в процессе эксплуатации для предупреждения аварийных режимов катастрофического разрушения.

Ключевые слова: экскаватор, функциональная энергия, энергоемкость, разрушение.

I.M.Radkevich, the prof., A.J.Savchenko, Cand.Tech.Sci., МГГУ

Use of power consumption for the generalised estimation of durability of mechanisms and designs at designing and operation/

Possibility of use specific power consumption as the generalised indicator of an estimation of durability of the basic mechanisms and dredges bearing design is proved.

The equations power are offered power functional model, balance and the settlement formula of an indicator of resistance to destruction for use at calculations of durability of mechanisms and bearing designs of dredges on a design stage.

It is recommended to carry out the control of dynamics of change of an indicator of resistance to destruction while in service for the prevention of the emergency modes of catastrophic destruction.

Key words: a dredge, functional energy, power consumption, destruction.

В основе традиционного подхода к обеспечению прочности механизмов и конструкций экскаваторов на стадии проектирования положен принцип достижения

необходимых значений коэффициентов запаса прочности (соотношений напряжений пределов упругости, текучести и прочности, используемых конструктивных материалов, с расчетными, определяемыми проектируемыми силовыми нагрузками в рабочих режимах).

При приемочных испытаниях опытных и головных образцов экскаваторов осуществляется тензометрирование фактических напряжений от рабочих режимов нагружения только в ответственных несущих конструкциях в их зонах концентрации напряжений.

На стадии эксплуатации снижение прочности механизмов и конструкций оценивается отдельно по обнаруживаемым тем или способом (визуально, дефектоскопией, вибрационным или тепловым контролем) признаков физико-механического, либо химического разрушений (трещиноватости, наклепу. износу, нагреву, вибрации, окислению и др.).

Вместе с тем до обнаружения признаков разрушения возможности контроля временных непрерывно происходящих процессов накопления повреждений по совокупности механизмов и конструкций экскаваторов не используются. Тем самым снижается эффективность предупреждения режимов катастрофического разрушения, нередко по последствиям имеющим опасный характер.

Научными исследованиями в области надежности и результатами их практического применения доказано, что обобщенная оценка и контроль на стадии эксплуатации динамики изменения напряженно-деформированного состояния механизмов и конструкций экскаваторов позволяет на начальных этапах обнаруживать процессы накопления повреждений в них до наступления предельного состояния. При этом в качестве оцениваемого показателя в основном используется величина фактического напряжения в зонах концентрации напряжений при рабочем нагружении. Вместе с тем каждому напряженно-деформированному состоянию механизмов и конструкций экскаваторов соответствует определяющего его энергетическое состояние и энергетический баланс по силовым функциональным воздействиям, а также воздействиям повреждающих факторов окружающей среды. Поэтому оценка изменений на этапе эксплуатации энергетических состояний и энергетических балансов позволяет создать дополнительные возможности для непрерывного контроля технического состояния и процессов накопления повреждений.

Первые научные работы в области анализа энергетических балансов горного оборудованию, выполненные в Московском государственном горном университете (проф. Г.И. Солод) показали перспективность подхода.

Концептуальное использование составляющей энергетических балансов - энергоемкости, как показателя, отражающего собственные затраты энергии на осуществление механизмами и конструкциями экскаваторов своих функций, открывает достаточно широкие возможности и для оценки их энергоэффективности. Энергоемкость можно рассматривать как обобщенный показатель, характеризующий, как будет показано ниже, прочностное состояние и энергоэффективность, тем самым создать условия для более полной оценки качества разработки и изготовления механизмов и конструкций экскаваторов.

1. Теоретические предпосылки использования энергоемкости для обобщенной оценки прочности механизмов и конструкций экскаваторов.

1.1. Накопительные термоактивационные процессы разрушения твердых материалов.

Исследованиями в области общей надежности технических систем показано, что вероятность возникновения отказов их компонентов определяется запасом механической, электрической, тепловой прочности, а также скоростью изменения ее вследствие протекающих внутри или на поверхности используемых конструктивных материалов физико-химических процессов. Изменение физического состояния, свойств и характеристик материалов обусловлено воздействием внешних энергий и связано с изменением энергетической структуры на микроуровне (энергетических связей атомов и молекул).

Конструкции и механизмы экскаваторов, как правило, представляют собой взаимодействующую совокупность механических, электротехнических, гидравлических и электронных устройств, создаваемых с применением металлов и диэлектрических материалов. Для анализа процессов их разрушения правомерно использование общепризнанных физических моделей возникновения отказов [2 и др.]. При этом, по мнению авторов, предпочтительным является подход, когда механизм разрушения конструктивных материалов рассматривается не как критическое событие, при котором действующие напряжения и напряженности достигают критической величины, а как постепенный кинетический термоактивационный процесс, развивающийся в механически напряженно-деформированном материале с момента приложения к нему нагрузки (механической, электрической, тепловой), в том числе и меньше критической.

Для описания возможных механизмов разрушения твердых материалов, установленных теорией кинетических термоактивационных процессов [2 и др.], предлагаются эмпирические уравнения, определяющие время и скорость процессов

разрушения. В них показана зависимость процессов наряду с температурой нагрева от энергии активации процесса разрушения U [ккал / моль] :

$$U = U_0 - \gamma\sigma \quad (1),$$

где U_0 – величина начальной энергии активации (энергетический барьер - начальная внутренняя энергия сопротивления материала разрушению), ккал / моль ;

γ – структурный коэффициент, определяющий интенсивность уменьшения начальной энергии активации под воздействием единицы приложенного напряжения (характеристика чувствительности материала к силовой нагрузке), ккал x мм² / моль x кг;

σ – величина напряжения материала при приложении нагрузки, кг / мм² ;

При этом U_0 и γ – показатели характеризуют прочностные свойства материала.

U_0 – величина, близкая к энергии разрыва межатомных связей, постоянная для конкретного материала в широкой области температур и независимая от его обработки (термической, легирования и т.д.). Все изменения прочностных свойств материалов, происходящие при деформировании, тепловой и другой обработке связаны с изменением величины показателя γ . Следовательно, показатель γ может рассматриваться как количественная мера прочности, то есть как показатель сопротивления материала разрушению, учитывающий временную и температурную зависимость его прочности.

Очевидно, оценивая периодически возрастающую величину энергии $\gamma\sigma$, снижающей начальную энергетическую сопротивляемость материала разрушению и создающей направленность процесса, а также показателя γ можно контролировать процессы разрушения. Одновременно показатель U можно рассматривать как текущее значение внутренней энергии сопротивления материала процессу разрушения, которая теоретически уменьшается до нулевой величины, когда уровень энергетического нагружения материала достигает величины начального энергетического барьера $U_0 = \gamma\sigma$, а напряжение σ достигает величины напряжения предела прочности материала.

Энергия сопротивления материала процессу разрушения U имеет линейную зависимость от величины напряжения σ [2] : $U = U_0$ при $\sigma = 0$, $U = 0$ при σ равным напряжению предела прочности материала.

Важно отметить, что при переменном по величине энергетическом нагружении твердых материалов происходит порциональное суммирование повреждений от воздействия каждой нагрузки в конкретный момент времени.

Очевидно, что описанные закономерности применимы и для созданных из конкретных материалов механизмов и конструкций экскаваторов. При этом принципиальным отличием является то, что показатели их первоначальной прочности

$U_0(m, k)$ и $\gamma(m, k)$ зависят не только от используемых конструктивных материалов, но и от размеров конструктивных зон концентрации напряжений, а также начального напряженно-деформированного состояния, определяемого весовыми характеристиками и пространственным расположением составляющих компонентов, а также выполненными сборочно-монтажными работами (дополнительные напряжения от сварочных и болтовых соединений, некачественной центровки, балансировки и сопряжения вращающихся деталей и др.).

1.2. Уравнения энергетических балансов экскаватора.

Экскаватор можно рассматривать как энергетический объект, осуществляющий преобразование потребляемой электрической энергии в функциональную с необходимыми силовыми и скоростными характеристиками, для осуществления копания горных пород в предварительно подготовленном забое, пространственного транспортирования и разгрузки их в установленной зоне пространства. Технологически основное функциональное пространство наибольшего энергетического нагружения экскаватора разделяется на конструктивные зоны: копания, транспортирования и разгрузки груженого ковша. Каждая конкретная траектория движения ковша имеет индивидуальные характеристики энергетического, силового и скоростного нагружения экскаватора, определяемые машинистом экскаватора.

Необходимым условием осуществления технологических операций является циклично изменяющееся во времени напряженно – деформированное состояние основных механизмов и несущих конструкций экскаватора, характеризуемые собственной энергоемкостями, обеспечивающими выполнение ими своего функционального назначения. При этом основные механизмы осуществляют преобразование потребляемой энергии в функциональную, а несущие конструкции обеспечивают пространственную передачу функциональной энергии на ковш в зоны копания, транспортирования и разгрузки горной породы. Поэтому в общем виде уравнения энергетических балансов экскаватора можно представить следующими выражениями:

$$\text{основных механизмов} - \text{Эпотр}(m)(T_{ц}) = \text{Эф}(m)(T_{ц}) + \text{Ам}(T_{ц}) \quad (2),$$

$$\text{для несущих конструкций} - \text{Эпотр}(k)(T_{ц}) = \text{Ак}(T_{ц}) \quad (3),$$

где соответственно $\text{Эпотр}(m)(T_{ц})$, $\text{Эпотр}(k)(T_{ц})$ – потребляемые энергии основных механизмов и несущих конструкций, Дж; $\text{Эф}(m)(T_{ц})$ – функциональные энергии основных механизмов Дж; $\text{Ам}(T_{ц})$, $\text{Ак}(T_{ц})$ – энергоемкости основных механизмов и несущих конструкций, Дж.

Понятия функциональной работы, функциональной мощности были определены проф. Г.И. Солод и А.М. Радкевич (МГГУ). В частности, реализуемую функциональную мощность они рассматривали как функциональный критерий горной машины [3].

Для экскаватора в целом и его основных механизмов энергетические коэффициенты использования потребляемой энергии можно определить отношениями:

$$\text{полезного действия (КПД)} = \frac{\text{Эф (м) (Тц)}}{\text{Эпотр (м) (Тц)}} \quad (4),$$

$$\text{энергоэффективности – Кэнэ (м) (Тц)} = \frac{\text{Ам (Тц)}}{\text{Эф (м) (Тц)}} \quad (5).$$

Энергетические балансы энергоемкости основных механизмов $A_m (T_c)$ можно представить выражением:

$$A_m (T_c) = \text{Эдв (Тц)} + \text{Эдеф (Тц)} + \text{Эуп.кол (Тц)} + \text{Эрас (Тц)} + \text{Эраз (Тц)} \quad (6),$$

где Эдв (Тц) – кинетические энергии, расходуемые на обеспечение движения основных механизмов и несущих конструкций, Дж ; Эдеф (Тц) – потенциальные энергии упругих и пластических деформаций при нагружении узлов и деталей механизмов и конструкций в процессе формирования и пространственной передачи функциональных энергий и функциональных силовых воздействий, Дж; Эуп.кол (Тц) – потенциальные энергии упругих механических колебаний при формировании и пространственной передаче функциональных энергий и функциональных силовых воздействий, Дж; Эрас (Тц) – энергии рассеивания (тепловые при нагревании узлов и деталей и механические при пространственных колебаниях конструкций) в режиме нагружения, Дж; Эраз (Тц) – потенциальные энергии активизации процессов разрушения механизмов и конструкций при нагружении, снижающие величины их энергетических барьеров $U_o (m,k)$, Дж.

Все составляющие уравнений (2, 3, 4, 5, 6) являются циклично - временными параметрами. При этом величины всех составляющих определяются внешним энергетическим воздействием – необходимостью обеспечить в технологических операциях требуемых значений функциональных усилий и скоростей.

1.3. *Энергетические показатели прочности механизмов и конструкций экскаваторов.*

Применительно к механизмам и конструкциям экскаватора энергия Эраз (Тц) в уравнении (6) по своей физической сущности может рассматриваться аналогичной

энергии $\gamma\sigma$ в уравнении (1) для материалов, как энергия, активизирующая снижение их первоначальной прочности. Учитывая, что функциональное напряжение в деталях и узлах механизмов и конструкций экскаватора $\sigma(m,k)$ определяется функциональным силовым воздействием $S\phi(m,k) (T_c)$, энергию Эраз (м,к) (Тц) можно характеризовать выражением:

$$\text{Эраз (м,к) (Тц)} = K_{c(m,k)} \times S\phi(m,k) (T_c) \quad (7),$$

где $K_c(m, c)$ – структурный коэффициент, определяющий интенсивность снижения начальных энергетических барьеров $U_0(m, k)$ при нагружении механизмов и конструкций экскаватора единицей функционального силового воздействия $S_f(m, k) (T_c)$

(коэффициент чувствительности механизмов и конструкций экскаватора к функциональным силовым воздействиям), Дж / Н;

$S_f(m, k) (T_c)$ – функциональное усилия, (циклично – временной параметр), Н. По аналогии с энергией $\gamma\sigma$ и структурным коэффициентом γ периодически оценивая динамику изменения величин $\Delta_{раз} (m, k) (T_c)$ и $K_c(m, k)$ можно также контролировать процессы разрушения механизмов и конструкций экскаватора.

Оценивая процессы разрушения механизмов и конструкций экскаватора как расходование начального запаса прочности при возрастании $\Delta_{раз} (m, k)$ из-за технических трудностей непосредственного измерения величин $K_c(m, k)$ можно предложить определять текущее прочностное состояние по текущему соотношению энергий $A(m, k) (T_c)$ и $\Delta_{раз}(m, k) (T_c)$:

$$K_{Эпр}(m, k) = A(m, k) (T_c) / K_c(m, k) \times S_f(m, k) (T_c) \quad (8),$$

преобразуя его в уравнение обобщенного показателя сопротивления разрушению (коэффициента прочности) $K_{пр} (m, k) (Дж / Н)$:

$$K_{пр}(m, k) = K_{Эпр}(m, k) \times K_c(m, k) = A(m, k) (T_c) / S_f(m, k) (T_c) \quad (9).$$

Для механизмов энергоемкости $A(m) (T_c)$ несложно оценить и измерить с использованием уравнения (2):

$$A(m) (T_c) = \Delta_{потр}(m) (T_c) - \Delta_{ф}(m) (T_c) \quad (10).$$

Для конструкций $A(k) (T_c)$ рассчитать, как потенциальную энергию передачи функционального усилия $S_f(k) (T_c)$ (энергию упруго-пластических деформаций с учетом рассеивания энергии при механических упругих колебаниях).

По физическому содержанию показатель сопротивления разрушению представляет удельную энергоемкость (удельную расходующую энергию) на осуществление формирования и пространственную передачу единицы функционального усилия $S_f(m, k) (T_c)$.

Величина показателя $K_{пр}(m, k)$, характеризующая текущее прочностное состояние механизмов и конструкций экскаватора, изменяется от минимального значения (после ввода экскаватора в эксплуатацию), когда энергии активизации процессов разрушения имеют минимальное значение, до максимального, когда наступает приближение к моментам катастрофических разрушений, и энергии активизации процессов разрушения увеличиваются до максимального значения.

Относительный уровень снижения запасов прочности механизмов и конструкций экскаватора можно контролировать по отношению последующего и предыдущего значений коэффициентов прочности:

$$K_{зпр(м,к)} = K_{пр(м,к) \text{ посл}} / K_{пр(м,к) \text{ пред}} > 1 \quad (11).$$

При $K_{зпр(м,к)} = 1$ ситуация соответствует предельному техническому состоянию, когда запасы прочности механизмов и конструкций исчерпаны.

Обобщая сказанное в подразделах 1.2 и 1.3 в общем виде экскаватор, как энергетический объект, можно представить функциональной моделью (рис.1), где $T_{ц}$ – время цикла экскавации, $n(ц)$ – количество циклов за время производительной работы экскаватора.

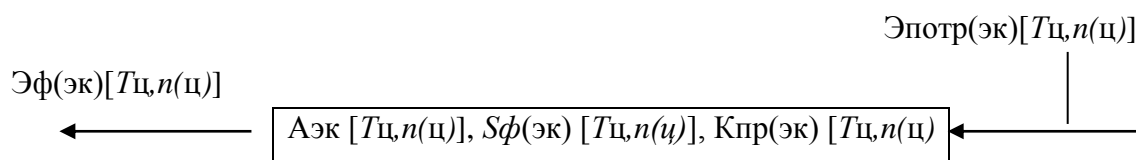


Рис.1. Энергетическая функциональная модель экскаватора

Практическое использование предложенных рекомендаций возможно для экскаваторов на стадии проектирования. Хотя экспериментальные данные по энергоемкости механизмов и конструкций экскаваторов, насколько известно авторам, отсутствуют, но математические модели разрушения материалов для кинетических термоактивационных процессов, по нашему мнению, отработаны на практически приемлемом уровне.

2. Преобразование, распределение и пространственная передача функциональной энергии основных механизмов и несущих конструкций драглайнов в технологические зоны экскавации.

В качестве примера использования функциональной модели рис.1 для драглайна, как энергетического объекта, на уровне основных механизмов и несущих конструкций, обеспечивающих осуществление его технологических операций, можно представить функциональную модель, приведенную на рис.2, для 3-х технологических операций с наибольшим энергетическим нагружением: копания горных пород, транспортирования груженого ковша и его разгрузки в установленной зоне пространства.

Для облегчения прочтения схемы обозначения $[T_{ц}, n(ц)]$, показывающие циклично-временную зависимость энергетических показателей (энергоемкости A и функциональных усилий S_f) сознательно упущены. К тому же необходимо учитывать следующую схему пространственной передачи функциональных энергий и усилий:

Механизм подъема (по конструктивной схеме навески подъемных канатов) > подъемные канаты > надстройка и стрела > ковш с прицепным устройством.

Механизм тяги (по конструктивной схеме навески тяговых канатов) > тяговые канаты > надстройка > ковш с прицепным устройством. Механизм поворота > поворотная платформа и опорная база > надстройка и стрела > подъемные и тяговые канаты > ковш с прицепным устройством. Поворотная платформа > опорная база.

Обозначения к рис.2:

Ковш с прицепным устройством:

Эф(п.кан) , $S\text{ф(п.кан)}$ – функциональная энергия и функциональное усилие подъемных канатов;

Эф(т.кан) , $S\text{ф(т.кан)}$ – функциональная энергия и функциональное усилие тяговых канатов;

$A_{\text{ков}}$, $K_{\text{пр(ков)}}$ – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению ковша с прицепным устройством;

Эф(коп) , $S\text{ф(коп)}$ – функциональная энергия и функциональное усилие копания ковша в зоне копания;

Эф(тр) , $S\text{ф(тр)}$ – функциональная энергия и функциональное усилие груженого ковша с прицепным устройством в зоне транспортирования;

Эф(разг) , $S\text{ф(разг)}$ – функциональная энергия и функциональное усилие груженого ковша в зоне разгрузки;

Подъемные канаты:

$A_{\text{п.кан}}$, $K_{\text{пр(п.кан)}}$ – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению подъемных канатов ;

Тяговые канаты:

$A_{\text{т.кан}}$, $K_{\text{пр(т.кан)}}$ – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению тяговых канатов;

Механизм подъема:

Эпотр(п) – потребляемая энергия механизмом подъема;

$A_{\text{п}}$, $K_{\text{пр(п)}}$ – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению механизма подъема;

Эф(п) , $S\text{ф(п)}$ – функциональная энергия и функциональное усилие механизма подъема.

Механизм тяги:

Эпотр(т) – потребляемая энергия механизмом тяги;

$A_{\text{т}}$, $K_{\text{пр(т)}}$ – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению механизма тяги;

Эф(т) , $S\text{ф(т)}$ – функциональная энергия и функциональное усилие механизма тяги.

Механизм поворота:

Эпотр(пов) – потребляемая энергия механизмом поворота;

Апов, Кпр(пов) – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению механизма поворота;

Эф(пов), Sф(пов) – функциональная энергия и функциональное усилие механизма поворота.

Поворотная платформа:

Апл, Кпр(пл) – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению поворотной платформы;

Эф пл(нд), Sф пл(нд) – функциональная энергия и функциональное усилие, передаваемые поворотной платформой надстройке;

Эф пл(стр), Sф пл(стр) – функциональная энергия и функциональное усилие, передаваемые поворотной платформой стреле;

Эф пл(баз), Sф пл(баз) – функциональная энергия и функциональное усилие, передаваемые поворотной платформой опорной базе.

Надстройка:

Анд, Кпр(нд) – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению надстройки;

Эф(нд), Sф(нд) – функциональная энергия и функциональное усилие сопротивления надстройки нагружению;

Стрела:

Астр, Кпр(стр) – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению стрелы;

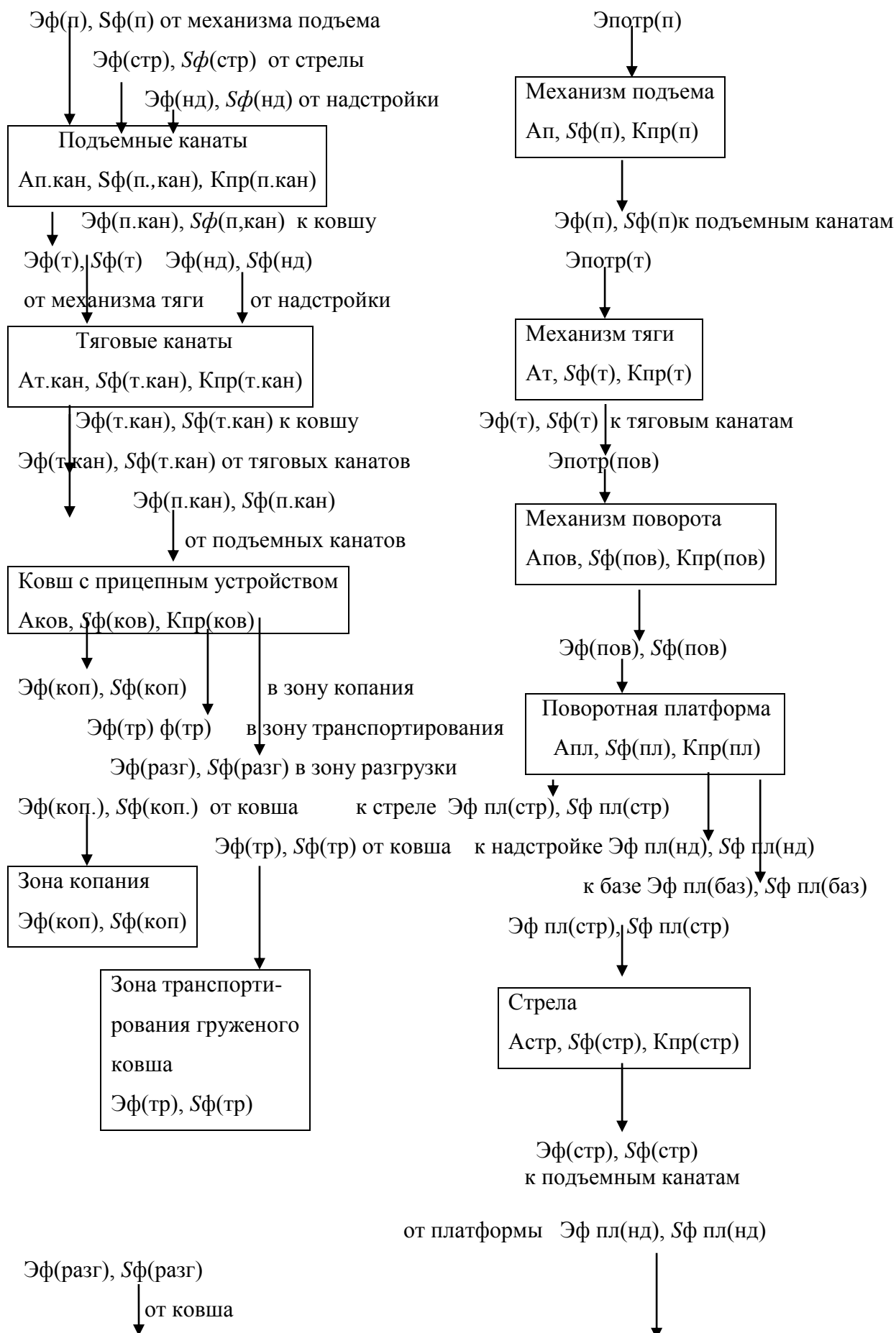
Эф(стр), Sф(стр) – функциональная энергия и функциональное усилие сопротивления стрелы нагружению.

Опорная база:

Абаз, Кпр(баз) – энергоемкость и показатель сопротивления разрушению базы;

Эф(баз), Sф(баз) – функциональная энергия и функциональное усилие сопротивления опорной базы нагружению.

*Основные механизмы и конструкции, обеспечивающие
осуществление технологических операций*



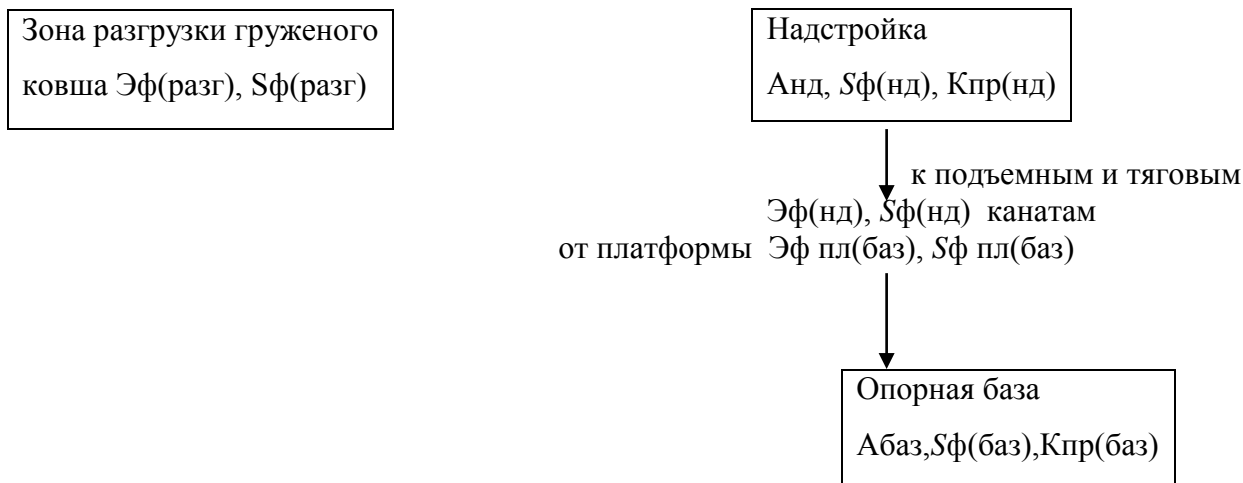


Рис.2. Энергетическая функциональная модель драглайна на уровне основных механизмов и несущих конструкций.

При использовании функциональной модели драглайна необходимо учитывать следующие принципиальные моменты:

- Обозначенные механизмы и конструкции имеют предварительное напряженно – деформированное состояние, определяемое весовыми характеристиками компонентов, а также силовым нагружением при производстве сборочно – монтажных работ.
- Энергетическая модель показывает формирование, распределение и передачу энергетических функциональных потоков при нагружении в рабочих режимах экскавации.
- Имеющая место неравномерность распределения функциональных энергий, функциональных усилий, энергоемкостей в конструктивном пространстве механизмов и конструкций определяется расположением их зон концентрации напряжений.

Важно также отметить, что организация встроенного контроля изменения энергоемкостей и показателей сопротивления разрушению механизмов и конструкций с использованием предложенной функциональной энергетической модели на базе устанавливаемых в настоящее время на драглайнах информационно – диагностических систем определяет возможности для предупреждения их внезапного разрушения и сокращения эксплуатационных расходов, ибо при внедрении создаются условия для одновременного контроля процессов накопления повреждений по полной совокупности механизмов и конструкций до обнаружения тем или иным диагностическим методом явно выраженных признаков разрушения.

Важно также при подготовке технических проектов новых образцов экскаваторов определять расчетные значения энергоемкостей и показателей сопротивления разрушению механизмов и конструкций в наиболее нагруженных рабочих режимах

экскавации для 2-х предельных состояний: начала процессов активизации разрушения и наступления катастрофического разрушения. Эти расчеты необходимы для предварительной настройки встроенного контроля процессов разрушения, При этом могут быть полезны предложенные в статье расчетные формулы этих показателей.

Определение расчетных значений энергоемкости и показателей сопротивления разрушению для отдельных механизмов и конструкций драглайна.

(в качестве примеров)

Основные трудности определения энергоемкостей и показателей сопротивления разрушению механизмов и конструкций драглайна в отсутствии необходимых экспериментальных и эксплуатационных данных, ибо на стадиях рабочих проектов и приемочных испытаний новых образцов экскаваторов величины и динамика изменения энергоемкостей в наиболее нагруженных рабочих режимах по основным механизмам и несущим конструкциям не оцениваются, а при расчетах потребляемой мощности используются упрощенные нагрузочные диаграммы и усредненные значения коэффициентов полезного действия. Однако, имеющуюся ограниченная расчетная информация по драглайнам представляет возможность все таки получить отдельные ориентировочные значения интересующих нас показателей (в виде конкретных примеров расчета).

Приходится ограничить свой выбор механизмами тяги, подъема и несущей конструкцией стрелы в наиболее нагруженных технологических операциях копания и транспортирования груженого ковша, по которым имеются определенные расчетные и экспериментальные данные. При этом в качестве силовых нагрузок использованы данные по драглайну ЭШ – 15/90А, приведенные в работе [4] и полученные на основе наблюдения за работой машинистов различной квалификации в рабочих режимах предельного нагружения:

- механизма тяги – режим черпания при наполнении ковша, реализующий близкие к максимальным значения тяговых усилий и скоростей;

- механизма подъема – режим отрыва ковша от грунта на расстоянии, максимально приближенном к пятам стрелы и реализующий близкие к максимальным усилия подъема;

Стрелы (нижний пояс) – нагружение в режиме отрыва ковша от грунта на расстоянии, максимально приближенном к пятам стрелы.

Уровень нагружения механизмов тяги, подъема и стрелы драглайна в конкретном забое определяется квалификацией машиниста [4].

Механизм тяги

Максимальное расчетное усилие тяги [1]:

$$S_{т \text{ макс}} = K_{т} \times G_{к+г} = 922 \text{ кН},$$

где $K_{т}$ – коэффициент максимального усилия тяги, принимается по рекомендациям [1]
 $K_{т} = 2,0$;

$G_{к+г}$ – расчетный вес ковша с грунтом (расчетная концевая нагрузка), принимается по технической характеристике для драглайна ЭШ – 15/90А $G_{к+г} = 461 \text{ кН}$.

Функциональное усилие механизма тяги:

$$S_{ф(т)} = K_{у(т)} \times S_{т \text{ макс}} = 756 \text{ кН},$$

где $K_{у(т)}$ – коэффициент использования машинистом максимального расчетного усилия тяги в операции копания, рассчитан по данным табл.3 [4] по наиболее квалифицированному машинисту при копании в скальных породах по показателю средней используемой в операции механической характеристике электропривода тяги $K_{у(т)}=0.82$.
Функциональная энергия механизма тяги:

$$\Delta\phi(т) = K_{ск(т)} \times K_{у(т)} \times N_{т(рас)} \times T_{к} = 20297 \text{ кДж},$$

где $K_{ск(т)}$ – коэффициент использования машинистом максимальной расчетной скорости в операции копания, принимается по данным табл.3 [4] для наиболее квалифицированного машиниста $K_{ск(т)} = 0,85$;

$N_{т(рас)}$ – расчетная мощность электропривода тяги, принимается по технической характеристике для драглайна ЭШ – 15/90А $N_{т(рас)} = 2240 \text{ кВт}$;

$T_{к}$ – достигаемое наиболее квалифицированным машинистом время операции копания принимается по данным табл.3 [4] $T_{к} = 13\text{с}$.

Потребляемая энергия механизмом тяги:

$$\Delta\phi_{потр(т)} = \Delta\phi(т) / \eta_{т} = 27062 \text{ кДж},$$

где $\eta_{т}$ (т)- расчетный энергетический коэффициент полезного действия, принимается величина КПД, используемого при расчетах потребляемой мощности механизма тяги $\eta_{т}= 0,75$.

Показатель сопротивления разрушению механизма тяги:

$$K_{пр(т)} = [\Delta\phi_{потр(т)} - \Delta\phi(т)] / S_{ф(т)} = 8,95 \text{ Дж / Н}.$$

Механизм подъема

Для расчета режим нагружения механизма подъема при отрыве груженого ковша от грунта в начале транспортирования его на разгрузку.

При этом по данным [4] наибольшее усилие в подъемных канатах составляет 105 тс (1030 кН) в период времени 3с, а коэффициент использования максимальной расчетной скорости приблизительно равен $K_{ск(п)} = 0,27$.

Максимальное расчетное усилие механизма подъема [1]:

$S_{п макс} = K_{п} \times G_{к+г} = 876 \text{ кН}$, где $K_{п}$ – коэффициент максимального усилия механизма подъема, принимается по данным [1] $K_{п} = 1,9$ при $G_{к+г} = 461 \text{ кН}$.

Функциональное усилие принимается равным наибольшему усилию в подъемных канатах $S_{ф(п)} = 1030 \text{ кН}$.

Функциональная энергия механизма подъема:

$$\text{Эф}(п) = K_{ск(п)} \times K_{у(п)} \times N_{п(рас)} \times T_{оп} = 2123 \text{ кДж},$$

где $K_{ск(п)}$ – коэффициент использования машинистом максимальной скорости механизма подъема, принимается равным по [4] $K_{ск(п)} = 0,27$;

$K_{у(п)}$ – коэффициент использования машинистом максимального расчетного усилия механизма подъема, определяется по отношению $K_{у(п)} = S_{ф(п)} / S_{п макс} = 1030/876 = 1,17$

$N_{п(рас)}$ – расчетная мощность привода механизма подъема, принимается по технической характеристике $N_{п(рас)} = 2240 \text{ кВт}$;

$T_{оп}$ – время операции нагружения, принимается по данным [4] $T_{оп} = 3 \text{ с}$.

Потребляемая мощность механизма подъема:

$$\text{Эпотр}(п) = \text{Эф}(п) / \tilde{\eta}(п) = 2831 \text{ кДж},$$

где $\tilde{\eta}(п)$ – энергетический КПД механизма подъема, принимается равным 0,75 в силу конструктивного подобия с механизмом тяги.

Показатель сопротивления разрушению механизма подъема:

$$K_{пр}(п) = [\text{Эпотр}(п) - \text{Эф}(п)] / S_{ф(п)} = 0,69 \text{ Дж / Н}.$$

Стрела

ОАО « Уралмаш » при оценке технического уровня стрел использует показатель условной мощности стрелы A , являющейся степенным произведением концевой нагрузки (кН) и длины стрелы (м), который по своему физическому содержанию может рассматриваться в качестве показателя предельного энергетического нагружения конструкции стрелы, то есть показателя ее энергетического запаса прочности.

Предельное энергетическое нагружение стрелы может рассматриваться предельной энергоемкостью сопротивления разрушению конструкции стрелы, при этом справедливо отношение $A = A_0(\text{стр})$.

Используя расчетные данные табл.2,3 [1] по показателю A для рассматриваемого драглайна ЭШ – 15/90А, скорректировав в них размерность концевой нагрузки из (тс) в (кН), получим значение $A_0(\text{стр}) = 197960 \text{ кДж}$.

По данным [4] наибольшее усилие нагружения стрелы в нижнем поясе стрелы в режиме отрыва ковша от грунта в начале разгона в операции транспортирования, принимаемое за функциональное усилие стрелы $S_{ф(стр)} = 174 \text{ тс} = 1740 \text{ кН}$.

Показатель сопротивления стрелы в нижнем поясе $K_{пр(стр)} = 114 \text{ Дж / Н}$

Приведенные примеры расчета показателей энергоемкости A_t , A_p , $A_o(\text{стр})$ и показателей сопротивления разрушению $K_{пр}(т)$, $K_{пр}(п)$, $K_{пр}(\text{стр})$ подтверждают, что существует возможность уже на стадии проектирования драглайнов строить и рассчитывать энергетическую функциональную модель, приведенную на рис.2, а затем использовать ее для проведения прочностных расчетов, формирования технических характеристики и оценки технического уровня машин.

Одновременно представляется целесообразным предложить, чтобы на этапах приемочных испытаний новых образцов экскаваторов оценивать начальное прочностное состояние их основных механизмов и несущих конструкций по фактической энергетической функциональной характеристике для сравнения ее с проектной. Это позволит своевременно обнаружить и устранить технологические дефекты изготовления, монтажа и наладки, а также снизить количество внезапных отказов и аварийных остановок машин на начальном этапе эксплуатации (первые 2-3 года). Исходная энергетическая функциональная характеристика может быть базовой для последующего контроля процессов накопления повреждений при эксплуатации.

Выводы:

В заключение представляется важным обратить внимание на следующие принципиальные моменты:

1. Научные исследования и разработки в области теории кинетических термоактивационных процессов разрушения материалов, развивающихся в них при приложении нагрузки (механической, электрической, тепловой) доказали, что изменение свойств и характеристик материалов обусловлено воздействием энергий.

2. Применение результатов этих научных разработок при проведении прочностных расчетов на стадии проектирования экскаваторов с использованием предложенных энергетической функциональной модели и показателя сопротивления разрушению создает возможности для осуществления при эксплуатации опережающего контроля процессов накопления повреждений и снижения запасов прочности по полной совокупности механизмов и конструкций до обнаружения тем или диагностическим методом появившихся признаков разрушения. Тем самым повышать качество проектирования, изготовления и эксплуатации оборудования.

3. Проведенные обоснования методологии построения энергетической функциональной модели и расчета показателей сопротивления разрушению применительно к основным механизмам и несущим конструкциям драглайнов дают основание рекомендовать их использование не только при проведении прочностных расчетов при проектировании и оценке технического состояния на этапах приемочных

испытаний, но более достоверного планирования проведение технического обслуживания и ремонтов, предупреждать серьезные аварии, нередко имеющих по последствиям не только весьма затратную ликвидацию, но и опасный для обслуживающего персонала характер.

Список литературы:

- 1. Горное оборудование Уралмаша.** / Коллектив авторов. Ответственный редактор – Составитель Г.Х. Бойко. Екатеринбург: « Уральский рабочий », 2003, 240 с.
- 2. Мамедов И. М.** Физические основы надежности. Л., « Энергия», 1970, 152 с.
- 3. Солод Г. И., Радкевич Я. М.** Прогнозирование качества горной техники.М., « Изд -во МГИ»,1978
- 4. Балаховский М.С.** Рациональные приемы управления драглайнами на вскрышных работах. ЦНИИЭИуголь.М.,1978, 40с