

УДК 624.132

*В.Л. Баладинский, д-р техн. наук, проф. КНУСА,
В.Г. Чумаков, Туламелдормаш,
В.Н. Гагаев, Туламелдормаш*

ОСНОВЫ ДИНАМИКИ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТОВ

В машинах с динамическими рабочими органами энергия разрушения передается на рабочий орган от нескольких источников (в большинстве двух): двигателя (или двигателей) рабочего органа, принимающего на себя работу разрушения и двигателя механизма, осуществляющего перемещение рабочего органа. Установка, непосредственно на рабочем органе источника энергии, позволяет уменьшить ее потери за счет исключения из системы энергии, необходимой для перемещения массы несущей конструкции (платформы, стрелы, ротора, рукояти и т.д.) и увеличения коэффициента полезного действия механизма разрушения. Динамический рабочий орган является подвижным относительно машины или ее основных частей. Это позволяет получить практически любые усилия и скорости на режущей кромке рабочего органа, резко снизить вес машины и повысить ее производительность. За счет увеличения рабочих скоростей, режим разрушения становится динамическим – зона разрушения превышает зону внедрения рабочего органа. Основным недостатком машин с динамическими рабочими органами, по сравнению со статическими, является некоторое усложнение конструкции узла рабочего органа.

Использование рассмотренного принципа разделения (переноса) энергии, необходимой на разрушение, позволяет значительно повысить полезную единичную мощность машин, без увеличения общей установленной мощности. При прочих, равных со статическими условиями работы, машины с динамическим приводом позволяют разрабатывать более крепкие грунты и породы.

Практически при установке источника энергии непосредственно на рабочем органе режим разрушения становится динамическим, так как скорости внедрения и перемещения, в большинстве случаев, складываются. Однако в особых случаях, это будет показано в дальнейшем, эти скорости могут и не суммироваться.

Рассмотрим в общем виде эти положения. Для силы P , необходимой для внедрения рабочего органа на глубину δ , например, при вертикальном движении рабочего органа [1]:

$$P = \frac{U \cdot K_g \cdot S \cdot m \cdot V_0}{4E_{y\delta} \cdot K_\alpha}.$$

Практически можно получить любое значение при увеличении энергии единичного удара. Сила внедрения рабочего органа прямо пропорциональна скорости движения рабочего органа V_0 , площади его соприкосновения с грунтом S , динамическому сопротивлению грунта K_g , скорости прохождения волны в грунте U и обратно пропорциональна кинетической энергии рабочего органа $E_{уд}$ и величине угла заострения при его вершине K_α .

Следует отметить, что на силу сопротивления грунта влияют его физико-механические характеристики, входящие в показатель динамического сопротивления грунта K_g : удельный вес, сцепление, пористость, влажность, плотность. Причем этот показатель зависит от квадрата скорости внедрения.

Таким образом, при установке источника энергии непосредственно на рабочем органе у прицепных землеройных машин резко снижается тяговое усилие, у машин с навесным рабочим оборудованием уменьшается напорное усилие и т.д. Все это приводит к созданию изолированных от всей конструкции машины узлов - рабочий орган и привод, имеющих относительно небольшие веса и габариты. При этом, по сравнению с машинами статического действия, у машин с динамическими рабочими органами значительно возрастает единичная полезная мощность и коэффициент полезного действия.

На основе этих принципов создан ряд машин различного назначения с динамическими приводами рабочих органов.

В зависимости от целей и условий работы машины динамического действия можно разделить по следующим основным принципам:

1. По виду привода рабочего органа: независимый, зависимый, смешанный.

Независимый привод бывает со свободно-падающим грузом, вибрационный, ударный, скоростной, взрывной, газовый или их сочетание.

Независимый привод рабочих органов является наиболее эффективным. Энергия разрушения передается от двигателя (или двигателей) рабочего органа (M_1 , M_2) непосредственно на сам рабочий орган (PO) и далее на разрушаемый грунт ($г$).

Эффективность процесса в этом случае не зависит от величины тягового или напорного усилия ($т$) и мощности двигателя машины ($м$).

Зависимый привод динамических рабочих органов бывает: пружинный, гидравлический, пневматический, или их сочетание. В этом случае эффективность процесса зависит от силы сопротивления грунта P . Во время, предшествующее сколу грунта, упругий элемент $УЭ$ (например, пружина) накапливает энергию за счет основного двигателя машины (M). Во время скола пружина разжимается, дает рабочему органу дополнительный импульс, передающийся на грунт. Упругий элемент устанавливается обычно между напорным (HM), ходовым (XM) или тяговым (TM) механизмами и рабочим органом. В этом случае усилие разрушения зависит от силы тяги или напора машины.

Смешанный привод является сочетанием двух первых и позволяет использовать для разрушения как двигатель рабочего органа (M_1), так и двигатель самой машины (M).

2. По виду перемещения машины и динамическими рабочими органами можно разделить на самоходные, прицепные и полуприцепные.

3. По виду направления движения рабочего органа: вертикальное прямолинейное, горизонтальное прямолинейное, криволинейное, круговое.

При разрушении прочных грунтов динамическими нагрузками за счет погружения клинового рабочего органа наиболее целесообразно обрушать грунт в сторону открытой стенки забоя. В этом случае грунт отделяется от массива крупными глыбами при наименьших энергетических затратах. Важным узлом машины с рабочим органом ударного действия является рабочий инструмент, его форма и размеры определяются конструкцией машины, а также свойствами разрабатываемого грунта.

При проектировании рабочих органов ударного действия необходимо учитывать, что на величину внедрения рабочего инструмента за один удар, кроме свойств грунта, влияют также форма рабочего инструмента и площадь поперечного сечения его. Как показали исследования, для вязких грунтов типа глин нужно иметь клин с наименьшим углом заострения, а для других типов грунтов – мерзлого песка лучше иметь клин с углом заострения равным $15-30^\circ$. Первый тип клина режет мерзлую глину, попутно создавая в ней трещины, второй тип клина колет мерзлый песок.

Выбор формы рабочего органа зависит также от величины и направления нагрузок, под действием которых происходит разрушение грунта. При разрушении прочных грунтов путем последовательных погружений рабочего органа, обеспечивающих большую работу единичного удара, применяются в основном двускосные (симметричные) и односкосные клинья.

Значение оптимального плеча скола для хрупких и квазихрупких материалов может быть получено исходя из условий развития опережающей главной трещины, выходящей на открытую (лобовую) стенку забоя. Траектория такой трещины подчиняется известным закономерностям, базирующимся на условии минимума затрат энергии, необходимой для развития трещин.

Для устойчиво развивающейся главной трещины, выходящей на лобовую стенку забоя, при соблюдении указанного условия (минимума энергии) уравнение, определяющее траекторию трещины:

$$y' = \frac{2y_T}{x \left[1 - \left(\frac{y_T}{x_T} \right)^2 \right]}.$$

В этом случае угол θ : $\operatorname{tg} \theta = \frac{y_T}{x_T} = \frac{\ell}{h}$.

Образование трещины и ее устойчивое развитие возможно, когда требуемое усилие меньше или равно данному конкретному значению реализуемого машиной:

$$P \geq P_T = \frac{\pi \cdot \sigma_g (h^2 + \ell^2) b_p}{2h}.$$

Оптимальным условием разрушения, т.е. условием минимальной энергоемкости процесса будет:

$$P = P_T = \frac{\pi \cdot \sigma_g (h^2 + \ell_{\text{эф}}^2) b_p}{2h}.$$

Следует отметить, что в общем случае, при отсутствии открытой стенки, развитие главной трещины происходит при непрерывном снабжении энергией разрушения и по направлению приложения силы энергии. В общем случае для хрупких и полухрупких тел получены соотношения между X_T и Y_T . Эти соотношения могут быть использованы и для инженерных расчетов при выборе параметров рабочих органов машин для разрушения прочных пород и грунтов (скальных, мерзлых и полускальных).

При работе быстровращающихся дисковых и роторно-ударных рабочих органов толщина стружки (плечо скола) зависит от соотношения скоростей вращения и подачи $V_{\text{п}}$, а также число зубьев Z :

$$\ell_c = \frac{2\pi \cdot V_n}{Z \cdot \omega}.$$

При оптимальных условиях $\ell_c = \ell_{\text{эф}}$; $h = (1,0 - 1,5)\ell_{\text{эф}}$ и $P = P_T$

$$\ell_{\text{эф}} = \frac{P}{\pi \cdot \sigma_g \cdot b_p} = \frac{VU \cdot K_g \cdot Sm}{4E_{y\delta} \cdot K_{\alpha} \cdot \pi \sigma_g \cdot b_p}.$$

При этом скорость подачи с учетом $\ell_{\text{эф}}$ [1,2]:

$$V_{\text{п}} = \frac{\ell_{\text{эф}} \cdot \omega \cdot Z}{2\pi}.$$

Список литературы

1. Баладинский В.Л. Грунты. Разрушение. К., "Техніка будівництва", 2001.
2. Баладинський В.Л. Техніка прокладання ліній комунікацій. К., "МП Леся", 2001.