

## К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БАРОВЫХ ЗЕМЛЕРЕЗНЫХ МАШИН

О. Д. АЛИМОВ, И. Г. БАСОВ, Д. Н. МАЛИКОВ, Э. И. ЛИСОВСКИЙ

Для отработки методики исследования режимов работы землерезных машин в зимних условиях были проведены подобные исследования при резании талого грунта. Результаты этих исследований помогут избежать ошибок при проведении опытов в зимних условиях, а также имеют самостоятельное значение в оценке некоторых параметров землерезных машин.

Проведение экспериментов преследовало собой цель выявить:

- а) зависимость усилия подачи от скорости резания;
- б) зависимость энергоемкости процесса резания от скорости резания и подачи;
- в) оптимальные режимы работы землерезной установки при заданной мощности двигателя;
- г) нагрузки в трансмиссии исполнительного органа при различных режимах работы землерезной установки.

Для получения указанных выше зависимостей при работе землерезной машины на осциллограмму одновременно записывалось четыре параметра: крутящие моменты на валах двигателя  $M_{дв}$  и редуктора режущей части  $M_{р}$ , скорость вращения вала  $n$ , и усилие подачи  $F_{п}$ . Кроме того, в процессе опытов определялась скорость подачи  $v_{п}$ .

1. Затраты мощности при холостом протягивании режущей цепи определялись следующим образом. Бар выводился из щели и устанавливался в горизонтальном положении. Режущая цепь приводилась в движение на различных скоростях, а машина двигалась с минимальной скоростью подачи ( $v_{п} = 13$  м/час). При этом на осциллограмму записывались основные силовые параметры.

Зависимость затрат мощности от скорости  $v$ , холостого протягивания режущей цепи можно считать прямолинейной (рис. 1) и выразить эмпирическим уравнением

$$N_p = 2,8 v_p, \text{ л.с.} \quad (1)$$

С другой стороны, мощность на ведомом валу режущей части может быть определена по известной формуле

$$N_p = \frac{P \cdot v_p}{75 \eta_p}, \quad (2)$$

где  $\eta_p = 0,9$  — к.п.д. редуктора режущей части;  
 $P$  — усилие протягивания цепи, кг.

Решая совместно (1) и (2), получим

$$P = \frac{75 \cdot 2,8 \cdot v_p \eta_p}{v_p} = 75 \cdot 2,8 \cdot 0,9 = 190 \text{ кг.}$$

Таким образом, для барового исполнительного органа типа «Урал-33» длиной 2 м величина усилия холостого протягивания режущей цепи не зависит от изменения скорости движения последней в диапазоне 0,4—5,6 м/сек.

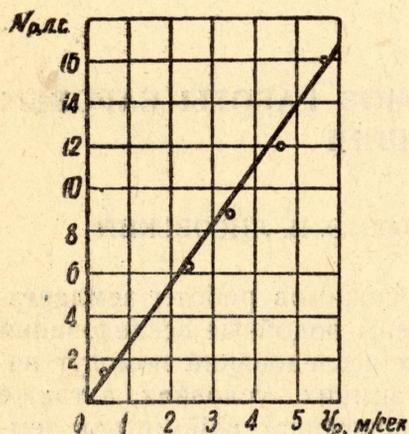


Рис. 1. Зависимость мощности, потребляемой режущей частью, от скорости холостого движения режущей цепи

Из рис. 1 следует, что мощность, расходуемая на холостое протягивание цепи, увеличивается с повышением скорости движения цепи и при  $v_p = 5,6$  м/сек достигает 16 л. с. Отсюда можно сделать вывод, что маломощные землерезные машины нецелесообразно настраивать на высокие скорости резания, так как удельный вес вредных сопротивлений в таких машинах будет велик.

2. Затраты мощности в процессе резания грунта определялись при семи различных скоростях резания в пределах 0,44 — 5,6 м/сек и шести скоростях подачи в пределах 13 — 125 м/час. Сочетание указанных выше скоростей резания и подачи составило более 30 различных режимов. По результатам исследований построены зависимости мощности, потребляемой режущей

частью, от скорости подачи для различных скоростей резания (рис. 2). Анализируя эти зависимости, можно сделать следующие выводы.

1. При постоянной скорости резания увеличение скорости подачи приводит к повышению расхода мощности.

2. При неизменной скорости подачи мощность зависит от скорости резания, причем эта зависимость различна при различных скоростях подачи.

3. Минимальные затраты мощности при заданной скорости подачи достигаются при определенной скорости резания.

3. Энергоемкость процесса резания определялась по формуле

$$q = \frac{0,736 \cdot N_p \eta_p}{H_{щ} v_p}, \text{ квт. ч/м}^2, \quad (3)$$

где  $H_{щ} = 1,5$  м — глубина щели, прорезаемой баровым исполнительным органом, при ширине 0,14 м.

Если опыты проводятся с применением баров различной толщины, затраты энергии необходимо относить к кубометру разрушенного грунта, т. е. в формулу (3) необходимо включить и ширину щели.

Энергоемкость процесса резания зависит от скоростей резания и подачи, поскольку для данной конструкции исполнительного органа их соотношение определяет толщину стружки, снимаемой резцом:

$$h = \frac{b \cdot t \cdot z_k \cdot v_p}{3600 \cdot z v_p}, \text{ мм}, \quad (4)$$

где  $b$  — число линий резаний;  
 $t$  — шаг цепи, мм;

$z_k$  — число кулаков в режущей цепи;

$z$  — число резцов в режущей цепи.

На рис. 3 представлены зависимости  $q = f(h)$ , из которых следует, что с увеличением толщины стружки от 0,5 до 8—15 мм энергоемкость резания снижается. Дальнейшее увеличение  $h$  практически не изменяет

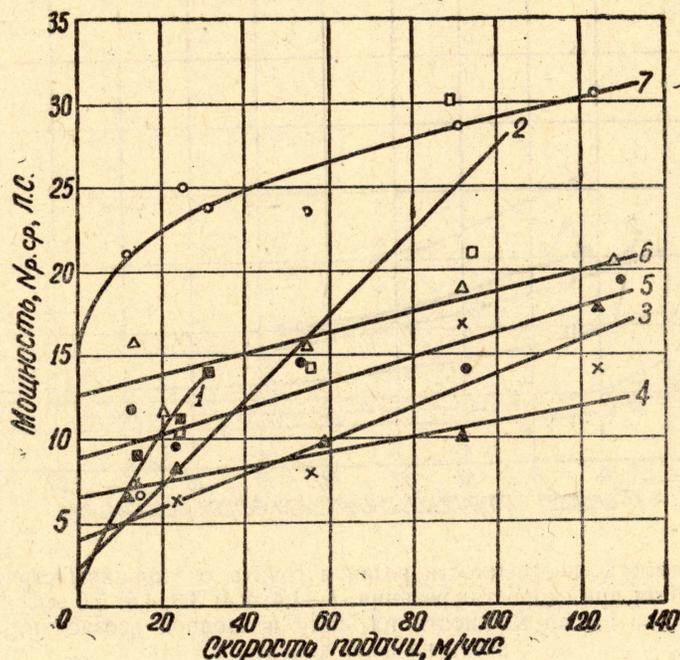


Рис. 2. Зависимость мощности, потребляемой режущей частью, от скорости подачи землерезной машины при резании немерзлого песчаного грунта со скоростями движения режущей цепи: 1—0,44 м/сек; 2—0,74 м/сек; 3—1,4 м/сек; 4—2,4 м/сек; 5—3,3 м/сек; 6—4,5 м/сек; 7—5,6 м/сек

величину  $q$ . При скоростях резания в пределах 1,4—5,6 м/сек энергоемкость определяется толщиной стружки и практически не зависит от скорости резания. При скоростях резания менее 1,4 м/сек энергоемкость зависит не только от толщины стружки, но и от скорости резания. Уменьшение скорости резания при одной и той же толщине стружки повышает энергоемкость. Это можно объяснить тем, что, как показывают визуальные наблюдения, при малых скоростях резания не весь грунт, поднимаемый из щели, сходит с режущей цепи. Чем меньше скорость резания, тем больше грунта вновь затягивается в щель. При значительных скоростях резания грунт после выхода из щели резцов и кулаков сыпается с последних под действием вибрации режущей цепи и центробежных сил, возникающих при обегании цепью ведущей звездочки бара. Следовательно, по условиям разгрузки зубков и звеньев цепи от грунта существует определенная минимальная критическая скорость резания, ниже которой процесс резания сопровождается повышением энергоемкости. Величина критической скорости резания определяется, по-видимому, главным образом свойствами грунта и в некоторой мере конструкцией режущей цепи. Для немерзлого песчаного грунта она оказалась равной примерно 1,4 м/сек, для глинистого грунта (особенно влажного) вероятно, будет значительно выше, а для мерзлых грунтов, возможно, ниже.

4. Сила тяги гусеничного двигателя землерезной установки замерялась при различных режимах резания. По результатам экспериментов построена зависимость силы тяги  $F_T$  от толщины

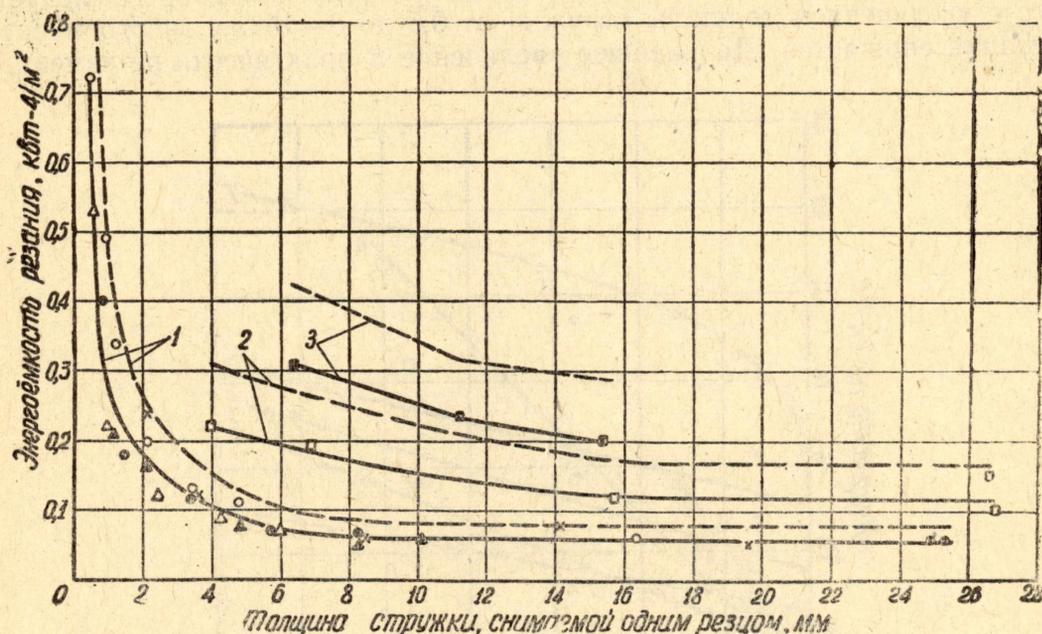


Рис. 3. Зависимость энергоёмкости резания грунта от толщины стружки, срезаемой отдельным резцом при скоростях резания, 1—1,4; 2,4; 3,3; 4,5; 5,6 м/сек; 2—0,74 м/сек; 3—0,44 м/сек; — по мощности на валу приводной звездочки; ---- по мощности на валу двигателя

стружки  $h$  (рис. 4). Из рис. 4 видно, что сила тяги представляет собой сумму

$$F_T = F_{x,x} + F_6,$$

где  $F_{x,x}$  — сила тяги гусениц при холостом перемещении землерезной установки по горизонтальной площадке и для нашего случая составляет 320 кг;

$F_6$  — усилие подачи бара на грунт.

С некоторым приближением можно принять

$$F_6 = \kappa \cdot h,$$

где  $\kappa$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств грунта, а также размеров и конструкции режущего органа. Для нашего случая, т. е. при резании в немерзлом песчаном грунте щели глубиной 1,5 м баровым исполнительным органом типа „Урал-33“  $\kappa = 24$  кг/мм.

Тогда

$$F_T = F_{x,x} + \kappa h.$$

Зная силу тяги при известной скорости перемещения землерезной машины, можно определить мощность, необходимую для осуществления подачи исполнительного органа.

5. При постоянной глубине щели и конструктивных параметрах исполнительного органа и его трансмиссии энергоёмкость согласно формуле (3) пропорциональна  $\frac{N_p}{v_p}$ , а толщина стружки (2) пропор-

циональна  $\frac{v_p}{v_n}$ . Следовательно, зависимость  $q = f(h)$  можно рассматривать как функцию

$$\frac{N_p}{v_n} = f\left(\frac{v_n}{v_p}\right),$$

отражающую взаимосвязь мощности, потребляемой баром, и скоростей резания и подачи.

В связи с этим можно считать, что наиболее экономичный режим резания обеспечивается таким отношением  $\frac{v_n}{v_p}$ , при котором энергоемкость будет минимальной. Если минимальное значение энергоемкости  $q_{\min}$  имеет место при толщине стружки  $h_{\text{опт}}$ , то при заданной мощности  $N_p$  максимальная скорость подачи

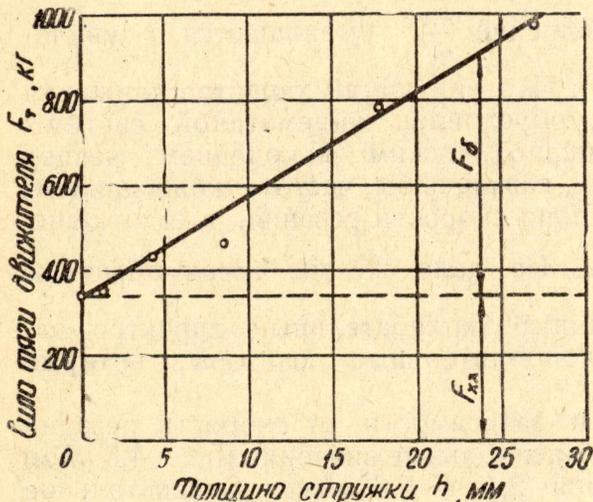


Рис. 4. Изменение силы тяги двигателя от толщины стружки

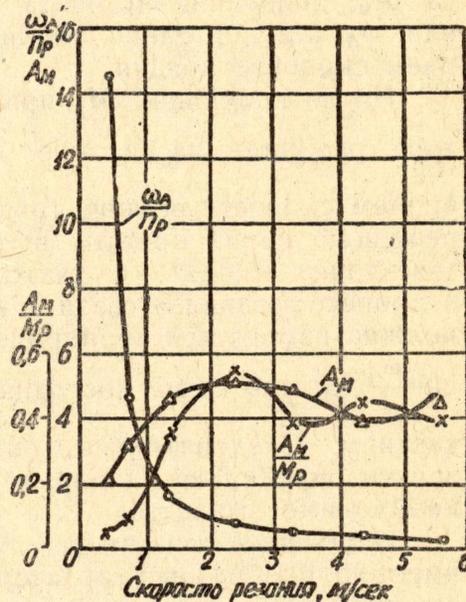


Рис. 5. Влияние скорости движения режущей цепи на характер нагрузки трансмиссии исполнительного органа

$$v_{n,\max} = \frac{0,736 N_p \cdot \eta_p}{H_{\text{ш}} \cdot q_{\min}} \quad (5)$$

будет достигнута при условии

$$\frac{v_n}{v_p} = \frac{3600 \cdot z}{b \cdot t \cdot z_k} h_{\text{опт}} \quad (6)$$

При заданной скорости  $v_n$  необходимая минимально возможная мощность резания определяется из выражения (5) при соблюдении условия (6).

Для данного исполнительного органа и грунтов, минимальная энергоемкость резания которых достигается при одной и той же толщине стружки ( $h_{\text{опт}} = \text{const}$ ), указанное оптимальное соотношение скоростей  $\frac{v_n}{v_p}$  является величиной постоянной и должно соблюдаться

независимо от абсолютных значений  $v_n$  и  $v_p$ . Исключением из этого правила является лишь то обстоятельство, что скорость резания не должна быть ниже критической  $v_{p,\text{кр}}$ , о чем говорилось выше. Критическая скорость резания определяет нижний предел оптимальной скорости подачи

$$v_{n,\min} = v_{p,\text{кр}} \frac{3600 \cdot z}{b \cdot t \cdot z_k} h_{\text{опт}}, \text{ м/час},$$

ниже которого нельзя обеспечить машине оптимальный режим работы.

6. При изучении осциллограмм записи крутящих моментов на валу редуктора режущей части  $M_p$  и вала двигателя  $M_{дв}$  было замечено следующее.

Моменты  $M_p$  и  $M_{дв}$  не остаются постоянными при работе землерезной установки на заданном режиме. Их значения синхронно и периодически изменяются в большую или меньшую сторону от некоторых постоянных средних величин.

При одной и той же скорости резания частота  $\omega_A$  и амплитуда  $A_m$  колебания момента  $M_p$  остаются примерно постоянными или  $\omega_A$  незначительно увеличивается, а  $A_m$  уменьшается с повышением скорости подачи.

Число колебаний  $M_p$ , приходящихся на один оборот вала редуктора режущей части, т. е. отношение  $\frac{\omega_A}{n_p}$  уменьшается с увеличением скорости резания (рис. 5). Пульсирующий характер движения режущей цепи, прежде всего, обусловлен кинематикой системы „звездочка — цепь“, а также периодическим включением резцов в процесс резания. В связи с этим, казалось бы, частота колебания  $\omega_A$  должна изменяться пропорционально скорости резания, т. е. отношение  $\frac{\omega_A}{n_p}$  должно быть постоянным. На деле же мы имеем обратную картину. Следовательно, описанный колебательный характер нагрузки определяют какие-то дополнительные факторы, которые необходимо выявить.

Изменение амплитуды  $A_m$  в зависимости от скорости резания имеет волнообразный характер. Максимальные значения (5,2 и 4,5 кгм) соответствуют скоростям резания 2,4 и 5,6 м/сек. Относительное значение амплитуды колебаний  $M_p$ , т. е. отношение  $\frac{A_m}{M_p}$ , также изменяется волнообразно в зависимости от скорости резания, достигая максимальных значений (0,53 и 0,45) при скоростях резания 2,4 и 4,6 м/сек.

Для выяснения описанных выше динамических явлений в трансмиссии барового режущего органа необходимо провести более глубокие исследования.

### Выводы

1. При оценке расходования мощности на резание грунтов баровым исполнительным органом необходимо учитывать то обстоятельство, что затраты мощности на холостое перемещение режущей цепи прямо пропорциональны скорости ее движения и при больших скоростях достигают значительных величин. Усилие же холостого протягивания режущей цепи зависит только от конструктивных параметров исполнительного органа и не изменяется в зависимости от скорости движения режущей цепи.

2. Затраты мощности при резании грунта и энергоемкость процесса резания зависят от скоростей движения цепи и подачи исполнительного органа, а также физико-механических свойств грунтов. В связи с этим для выявления оптимальных режимов резания мерзлых грунтов различных физико-механических свойств необходимо определять оптимальное отношение  $\frac{v_{п}}{v_{р}}$  или толщину стружки. Кроме того, при постоянной тол-

щине стружки необходимо определять минимально возможную критическую скорость резания, ниже которой повышается энергоемкость резания.

3. При исследовании режимов работы землерезной установки необходимо определять зависимость силы тяги двигателя от толщины стружки. Это позволит выявить как силу тяги, необходимую для холостого перемещения землерезной установки, так и усилие подачи исполнительного органа на забой.

4. Оптимальные режимы работы барового исполнительного органа необходимо определять из условий (5) и (6).

5. Необходимо провести детальные исследования динамических явлений, возникающих в трансмиссии барового исполнительного органа при резании мерзлых грунтов.