Ордена Трудового Красного Знамени
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
имени А. А. Скочинского

Ю. Д. КРАСНИКОВ, Н. Г. АНЦЫФЕРОВА,
А. В. ЧИЖИКОВ, И. В. МИХАЙЛИН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НЕКОТОРЫХ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА

МОСКВА

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР
Академия наук СССР
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт горного дела им. А. А. Скочинского

Лаборатория
динамики горных машин
и импульсной техники

Утверждена
директором института
проф., докт. техн. наук
А. В. Докукиным
25 декабря 1974 г.

Проф., докт. техн. наук Ю. Д. КРАСНИКОВ,
канд. техн. наук Н. Г. АНЦЫФЕРОВА,
канд. техн. наук А. В. ЧИЖИКОВ,
инж. И. В. МИХАЙЛИН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НЕКОТОРЫХ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА

Москва
1975

УДК 622.232.75-867

В работе дана методика упрощенного расчета производительности, динамических и энергетических параметров дизель-импульсного струга. Приводятся расчетные формулы и номограммы, позволяющие определить полную и полезную энергию машины, давление и потенциальную энергию пневмобуфера, шаг скола, производительность дизель-импульсного струга. Описываются стендовые испытания и результаты измерения некоторых динамических и энергетических параметров дизель-импульсного струга ДИП.

Настоящая методика позволяет также производить ориентировочные расчеты некоторых основных параметров дизель-импульсных приводов для стругов. Более полная и точная расчетная схема будет разрабатываться в процессе создания и испытаний новых моделей приводов дизель-импульсных стругов.

Методика предназначена для использования при конструировании стругов с дизель-импульсным приводом, а также для выбора рациональных технологических параметров разрушения горного массива.

© Институт горного дела им. А. А. Скочинского (ИГД им. А. А. Скочинского), 1975.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главнейших задач, стоящих в настоящее время перед угольной промышленностью, является создание и внедрение новых высокопроизводительных угледобывающих машин, обеспечивающих выемку углей любой крепости, существенно улучшающих сортность добываемого угля и снижающих запыленность воздуха. В связи с этим особую актуальность приобретают исследовательские и конструкторские работы по созданию высокопроизводительных взрыво-импульсных струговв, проводящиеся в ИГД им.А.А.Скочинского. Особенностью машин взрыво-импульсного действия является их компактность, низкая металлоемкость, автономность энергоснабжения, способность развивать весьма большие мощности и при этом в широких пределах регулировать энергию импульса.

В 1973-1974 гг. лабораторией динамики горных машин и импульсной техники совместно с ОЭЗ ИГД им.А.А.Скочинского был изготовлен и испытан в стендовых условиях первый экспериментальный образец взрыво-импульсного струга, работающего на дизельном топливе (дизель-импульсный струг с приводом ДИП).

Целью испытаний являлось определение работоспособности дизель-импульсного струга данной конструкции,измерение его силовых, кинематических и энергетических параметров, оценка эффективности разрушения горного массива, определение производительности и рациональных параметров разрушения.

Конструирование, испытание и внедрение в промышленность добывающих машин взрыво-импульсного действия поставили новые исследовательские задачи, важнейшими из которых являются оптимизация процесса импульсного разрушения угля, оценка энергетических возможностей взрыво-импульсных устройств и их КПД, определение динамических параметров и производительности этих машин.

В настоящей методике на основании результатов аналитических и экспериментальных исследований дизель-импульсного струга ДИП предлагается упрощенный расчет динамических и энергетических параметров и производительности добычных машин со свободно-поршневым дизель-импульсным приводом.

I. УСТРОЙСТВО ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА С ПРИВОДОМ ДИП

Дизель-импульсный струг с приводом ДИП, устройство которого показано на рис. I, включает в себя корпус I, внутри которого расположены поршень-боек 2 и шток с поршнем и рабочим инструментом 3. На корпусе смонтированы толкатель 4, топливный насос 5, соединенный трубопроводом 6 с форсункой 7, клапан 8, пусковой механизм 9, всасывающий I0 и выхлопной II трубопроводы, продувочная емкость I2. Продувочная емкость каналами I3 и I4 соединена с компрессорно-буферной полостью I5 и рабочим цилиндром I6.

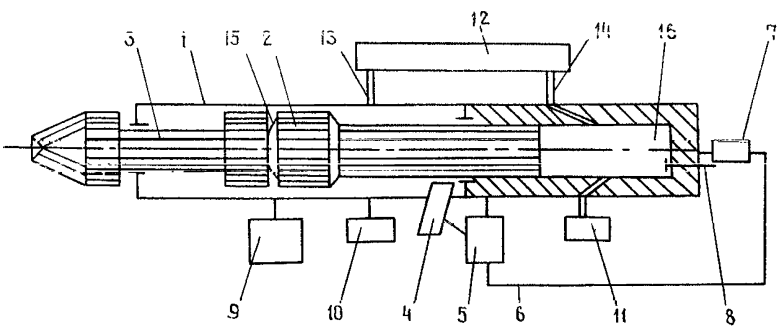

Рис. I. Устройство дизель-импульсного струга с приводом ДИП

Пуск привода осуществляется сжатым воздухом. Воздух из ресивера через клапан 8 поступает в рабочий цилиндр I6 и перемещает поршень-боек 2 влево - исходное для запуска положение. Из исходного положения поршень-боек под давлением воздуха, поступившего из ресивера через пусковой механизм 9 в камеру I5, перемещается вправо, сжимает воздух в рабочем цилиндре I6, при этом поршень-боек 2 воздействует на толкатель 4 топливного насоса 5. Топливный насос по трубопроводу 6 подает топливо к форсунке 7 и впрыскивает его в рабочий цилиндр I6 привода, где образовавшаяся топливно-воздушная смесь воспламеняется.

Под давлением газов, образовавшихся при сгорании топлива, поршень-боек перемещается влево; воздух, находящийся в левой (компрессорной) полости, по каналу I3 вытесняется в продувочную емкость I2. При дальнейшем движении поршень-боек перекрывает каналы I0 и I3, отсекая компрессорную полость, сжимает воздух в буферной камере I5 и производит удар по штоку рабочего инструмента 3.

Техническая характеристика
дизель-импульсного струга с приводом ДИП

Тип двигателя	Свободно-поршневой, двухтактный с петлевой продувкой
Энергия единичного импульса (полная), кгс.м	I30
Масса бойка, кг	I9/33
Частота импульсов, импульс/с	I5/I0
Максимальный объем рабочего цилиндра, $см^3$	II45
Степень сжатия	I6-20
Давление продувки, ати	0,4-0,6
Давление сжатого воздуха для пуска двигателя, ати	I0-I2
Тип топлива	Дизельное ДЛ
Расход топлива на I цикл, г	0,055
Охлаждение	Водяное
Тип рабочего инструмента	Долотообразный резец с прерывистой режущей кромкой
Общая ширина инструмента, мм	300
Ширина режущей кромки трех зубьев, мм	I30
Максимальный ход инструмента за удар, мм	30
Габариты струга, мм:	
длина	I600
ширина	380
высота	260
Масса струга, кг	500

Давление воздуха, сжатого в буферной камере I5, и удар по штоку рабочего инструмента передаются на пласт угля или породный массив и производят полезную работу - разрушение горного массива.

Выхлоп отработавших газов из рабочего цилиндра I6 осуществляется через трубопровод II, а следующая за выхлопом продувка цилиндра I6 - через канал I4.

После удара поршень-боек под давлением воздуха, сжатого в буферной камере I5, перемещается вправо и вновь сжимает воздух в рабочем цилиндре I6. Одновременно по всасывающему патрубку I0

в буферно-компрессорную полость I5 всасывается новая порция воздуха. При подходе к крайнему правому положению поршень-боек через толкатель 4 воздействует на топливный насос 5, который по трубопроводу 6 через форсунку 7 впрыскивает новую порцию топлива в цилиндр I6, и циклы работы дизельного привода повторяются.

Дизель-импульсный привод заключен в специальный струговый корпус[x)], в котором также располагались топливный бак и другое вспомогательное оборудование. В качестве рабочего инструмента использовался долотообразный резец с прерывистой режущей кромкой.

Случайный характер преодолеваемых стругом сил сопротивления приводит к тому, что энергия генерируемых импульсов расходуется от цикла к циклу случайным образом, а это в свою очередь вызывает отскок поршня-бойка со случайной скоростью и, следовательно, энергией. В этих условиях степень сжатия воздуха в рабочем цилиндре от цикла к циклу изменяется также случайным образом, что является основной особенностью работы такого рода машин при разрушении горного массива.

2. РАСЧЕТ НЕКОТОРЫХ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА

Рассмотрим принципиальную схему привода дизель-импульсного струга (рис. 2).

При работе поршень-боек IУ совершает возвратно-поступательное движение в корпусе струга. Масса бойка колеблется между двумя пневматическими пружинами: слева – это воздух, сжимаемый в буферно-компрессорной полости I и продувочной емкости Ш, справа – топливо-воздушная смесь, сжимаемая в рабочем цилиндре П.

Режим незатухающих колебаний поддерживается порциями дизельного топлива, впрыскиваемого в рабочий цилиндр в момент, когда боек приближается к верхней мертвой точке.

Поскольку энергия, получаемая бойком при расширении газов, которые образуются при взрывном горении топлива в рабочем цилиндре, существенно больше энергии, идущей на сжатие воздуха пневмобуфере, привод струга способен совершать полезную работу разрушения горного массива. При этом силовой импульс может пере-

---

x) При проектировании стругового корпуса, а также вспомогательного оборудования принимали участие инженеры Н.И.Лазинцев и Л.А.Федулин.

даваться на рабочий инструмент как через воздушную подушку пневмобуфера, так и непосредственным ударом бойка по штоку рабочего инструмента.

Давление в буферно-компрессорной камере

Рассмотрим процесс расширения-сжатия в буферно-компрессорной полости (объем $V_I + V_{III}$) как адиабатический (рис. 2). Тогда для давления газа справедливо соотношение

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma} = \varepsilon^{\gamma}, \qquad (1)$$

где ε – степень сжатия;

p_0 – начальное давление; p_0 = I ата, поскольку всасывающий патрубок соединен с атмосферой.

Показатель степени зависит от атомности газовой смеси, подвергаемой сжатию. Для буферной полости, где сжимается воздух, представляющий собой смесь двухатомных газов, γ = I,42. Однако ввиду того, что на практике возможны утечки сжатого воздуха из

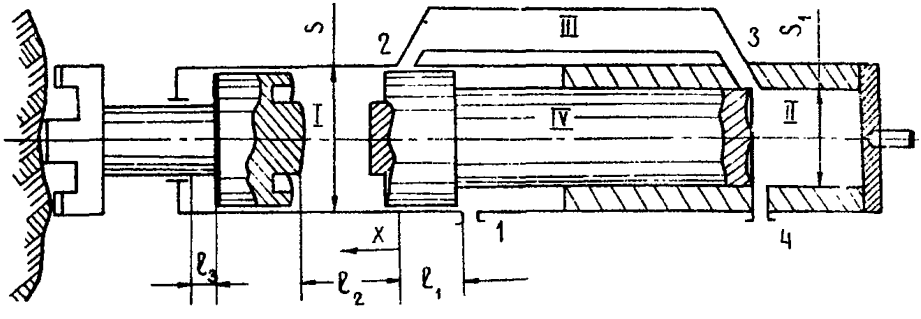

Рис. 2. Принципиальная схема привода дизель-импульсного струга:

I – всасывающее отверстие; 2, 3 – продувочные отверстия; 4 – выхлопное отверстие; ℓ_1 и ℓ_2 – длина соответственно компрессорной и буферной частей цилиндра; ℓ_3 – величина вылета инструмента; S и S_1 – сечение соответственно буферной и рабочей частей цилиндра

буферной емкости в момент максимального сжатия и из-за теплообмена между сжатым воздухом и корпусом привода, значение γ иногда приходится снижать до I,37–I,38. Для рабочего цилиндра, где сжимается топливно-воздушная смесь, нужно брать значение γ = I,37, справедливое для трехатомных газов.

Для расчета давления по формуле (I) при различных степенях сжатия и начальных давлениях предлагаются простейшие номограммы (рис. 3 и 4).

В дизель-импульсном приводе ДИП объем продувочной полости V_{III} = 3000 см^3, а объем буферно-компрессорной полости (цилиндра) V_I = 3300 см^3.

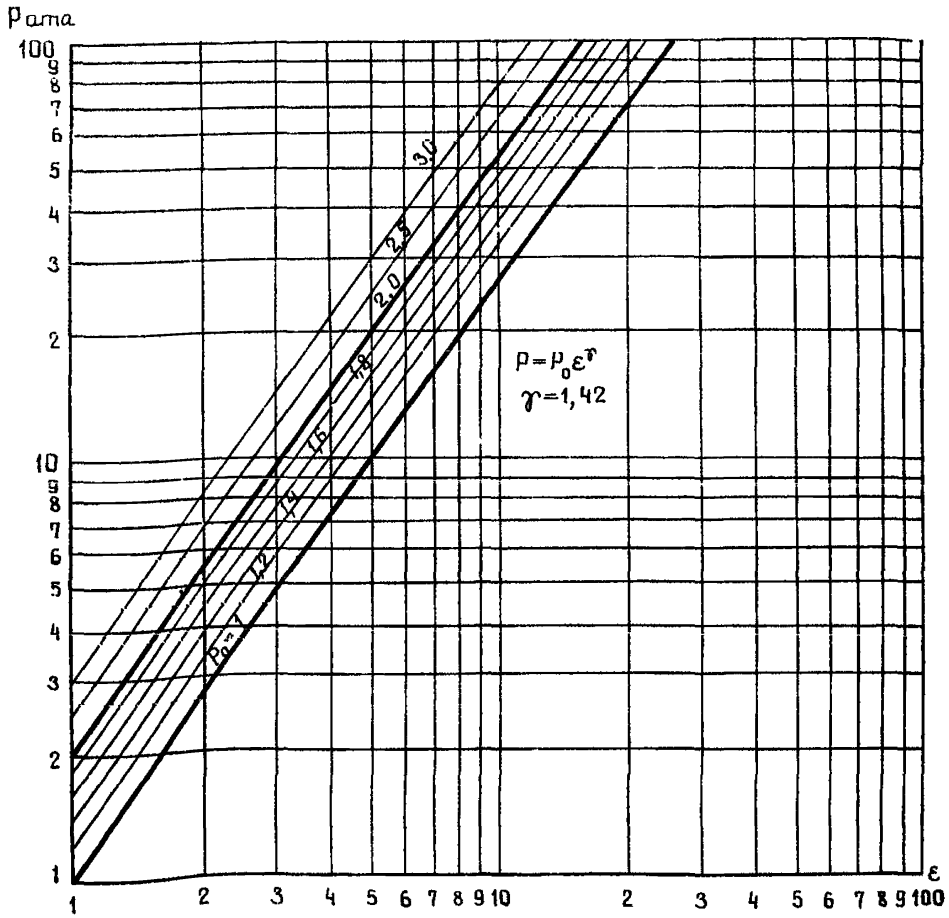

Рис. 3. Номограмма для определения давления в буферной камере при γ = 1,42

В момент, когда боек перекрывает отверстие 2 (рис. 2), давление в продувочной емкости P_n достигает величины:

$$P_к = P_п = \frac{P_0 \left(V_I + V_{III} \right)^\gamma}{\left(V_I + V_{III} - S\ell_1 \right)^\gamma} = \left(\frac{1}{1 - \frac{V_к}{V_I + V_{III}}} \right)^\gamma, \qquad (3)$$

где $P_к$ – давление в буферно-компрессорной части цилиндра;
S – сечение цилиндра буферно-компрессорной части привода;
ℓ_1 – длина компрессорной части цилиндра;
$V_к$ – объем компрессорной части цилиндра.

При этом $V_{\text{I}} = V_к + V_б$, где $V_б$ – объем буферной части цилиндра.

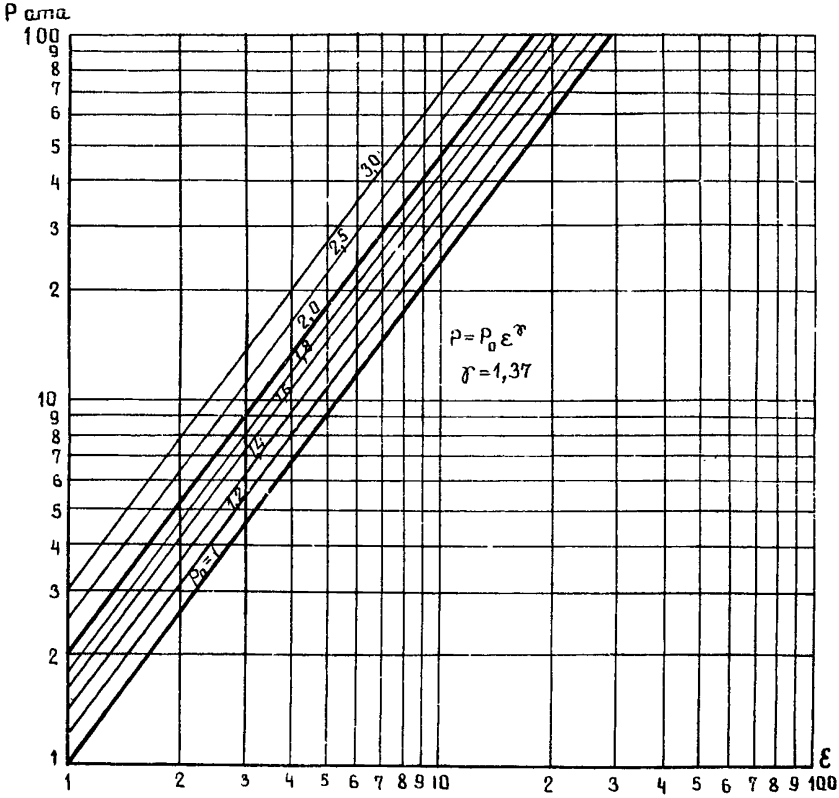

Рис. 4. Номограмма для определения давления в буферной камере при $\gamma = 1{,}37$

Избыточное давление, которое обеспечивает продувку рабочего цилиндра, равно

$$\Delta P_л \approx \frac{1}{\left(1 - \frac{V_к}{V_{\text{I}} + V_{\text{III}}}\right)^{\gamma}} - 1. \qquad (3)$$

Для струи с приводом ДИП избыточное давление, согласно замерам, составляет примерно 0,4 кгс/см^2.

Максимальное давление в пневмобуфере можно получить, приравняв конечный объем буфера $V_б$ к минимальному его объему, который образуется при соударении бойка с поршнем штока 3 рабочего инструмента (рис. I).

Согласно расчетам, в приводе ДИП минимальный объем буфера равен 138,5 см^3. Соответственно максимальное расчетное значение давления при $\gamma = 1{,}42$ должно быть около 60 кгс/см. Измеренное значение давления составило 59,8 кгс/см^2.

Если шток рабочего инструмента вдвинут в корпус на величину ℓ_3, то при расчетах из начального объема буферно-компрессорной части цилиндра следует вычесть объем $\ell_2 \cdot S$. При этом максимальное давление в пневмобуфере снижается за счет уменьшения степени сжатия в момент соударения бойка и штока. При работе машины величина ℓ_3 изменяется в широких пределах случайным образом, и, следовательно, случайным образом будет изменяться степень сжатия в буферной полости.

Энергия пневмобуфера

Пусть максимальный ход бойка в пневмобуфере равен X_0, сечение буфера – S и максимальный (начальный) объем буфера – $V_{б\,max} = V_0 = SX_0$. $(\ell_3 = 0)$.

При смещении бойка на величину X объем пневмобуфера уменьшится на $\Delta V_x = SX$. Сила сопротивления сжатию воздуха в буфере зависит от координаты x и равна

$$F_x = p_x \cdot S = \frac{p_к V_0^{\gamma} S}{(V_0 - SX)^{\gamma}} . \qquad (4)$$

Элементарная работа на сжатие пневмобуфера на пути dX

$$dA = p_x S = \frac{p_к V_0^{\gamma} \cdot S \cdot dX}{(V_0 - SX)^{\gamma}} = \frac{p_к \cdot X_0^{\gamma} \cdot S\, dX}{(X_0 - X)^{\gamma}} . \qquad (5)$$

Полная работа на сжатие воздуха в буфере на величину объема ΔV равна

$$A = p_к X_0^{\gamma} S \int_0^{X} \frac{dX}{(X_0 - X)^{\gamma}} = \frac{p_к V_0}{1-\gamma} \left[1 - \left(\frac{V_0 - \Delta V}{V_0} \right)^{1-\gamma} \right]. \qquad (5)$$

Работа, затраченная на сжатие воздуха в пневмобуфере, переходит в его потенциальную энергию.

Максимальная энергия, запасаемая в пневмобуфере, согласно формуле (5), равна

$$E_{б} = \frac{p_к V_0}{1-\gamma}\left[1-\left(\frac{V_{б\,min}}{V_{б\,max}}\right)^{1-\gamma}\right] = p_к V_0 \cdot \varphi, \qquad (6)$$

где

$$\varphi = \frac{1}{1-\gamma}\left[1-\varepsilon^{\gamma-1}\right]. \qquad (7)$$

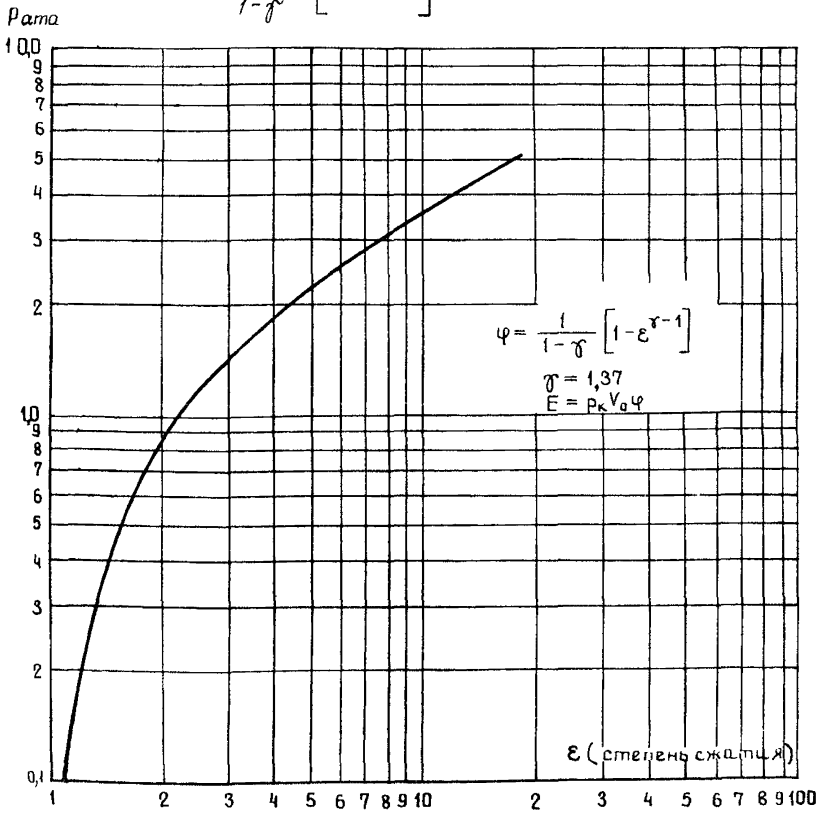

Рис. 5. Функция φ для вычисления энергии пневмобуфера

Функция $\varphi(\varepsilon)$, определяющая зависимость энергии от степени сжатия для γ = 1,37, приведена на рис. 5.

При определении E_δ начальное давление $p_к$ следует брать с учетом предварительного сжатия воздуха при движении бойка в компрессорной части цилиндра, т.е. $p_к = p_п$ [формула (2)].

При вдвигании штока рабочего инструмента в корпус первоначальный объем воздуха в пневмобуфере V_0 уменьшается, соответственно уменьшается количество энергии, расходуемой на сжатие этого воздуха, и, следовательно, количество энергии, запасаемой в пневмобуфере (рис. 6, кривая 2).

Условие возобновления рабочего цикла

Предположим, что корпус машины и инструмент жестко закреплены. Тогда для стабильной работы машины нужно, чтобы энергия, запасенная в пневмобуфере, обеспечила возврат бойка и создание

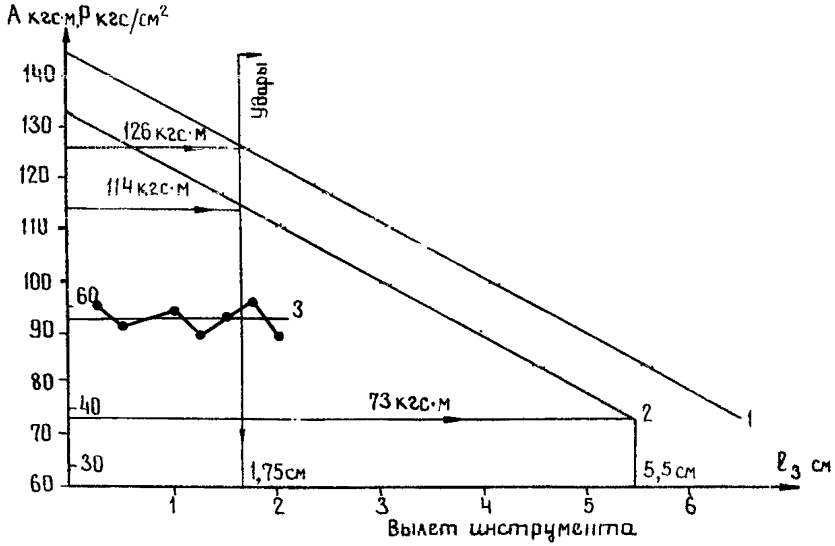

Рис. 6. Зависимость параметров дизель-импульсного привода ДИП от величины вылета рабочего инструмента ℓ_3:

1 – энергия, затраченная на сжатие пневмобуфера; 2 – энергия, запасенная в пневмобуфере; 3 – экспериментальные значения давления в пневмобуфере, замеренные при разных вылетах рабочего инструмента

в рабочем цилиндре давления, необходимого для воспламенения горючей смеси.

В дизель-импульсном струге с приводом ДИП максимальный объем рабочего цилиндра II (рис. 2) составляет 1145 см^3, минимальный –

I.

62 см^3. Воспламенение топлива происходит при степени сжатия порядка 18. Энергия, необходимая для сжатия топливной смеси в рабочем цилиндре до минимального объема, может быть подсчитана по формуле (6) и номограмме рис. 5 и составит

$$E_{р.ц\ min} = \beta_{0\,р\,ц} \cdot V_{ор.ц} \cdot \varphi = 1 \cdot 1145 \cdot 5{,}3 \approx 61 \text{ кгс·м}.$$

Поскольку энергия расширяющегося воздуха в пневмобуфере расходуется также и на преодоление сил трения поршневых колец и бойка о поверхность цилиндра, условие возобновления цикла в жестко закрепленной дизельной машине будет иметь вид

$$E_{б\ min} \geq E_{р.ц} + A_{тр} . \qquad (8)$$

Измеренная величина работы трения $A_{тр}$ при движении поршня в цилиндре дизель-импульсного привода ДИП составила 12 кгс.м.

Таким образом, минимальная энергия, которая должна быть запасена в пневмобуфере, равна $E_{б\ min} = 61+12 = 73$ кгс.м. Такой энергией пневмобуфер обладает при вдвигании штока рабочего инструмента в корпус до $\ell_3 = 5{,}5$ см (рис. 6). Эта величина является предельно допустимым ходом рабочего инструмента относительно корпуса. Однако специальные упоры, поставленные в дизель-импульсном струге ДИП, ограничивают ход штока инструмента до 3 см, что вызвано необходимостью повышения запаса устойчивости работы ДИП с учетом мгновенной подвижности корпуса машины и рабочего инструмента.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА

Экспериментальные исследования дизель-импульсного струга осуществлялись в два этапа:

1. Исследование режима работы струга на лабораторном стенде при закрепленном, свободно лежащем и наклонно подвешенном корпусе.

2. Исследование работоспособности и производительности дизель-импульсного струга на стенде, имитирующем крутой пласт в условиях, приближающихся к производственным.

Экспериментальные работы на первом этапе позволили всесторонне изучить кинематические, динамические и энергетические параметры работы струга и сопоставить их с расчетными.

Аппаратура и методика измерений

При стендовых испытаниях дизель-импульсного струга производились измерения различных параметров дизель-импульсного привода.

Давление в буферной камере измерялось при закрепленном корпусе и закрепленном рабочем инструменте с помощью тензорезистора, наклеенного на штоке рабочего инструмента. Каждая серия замеров делалась при определенной величине ℓ_3 вылета рабочего инструмента. Измерения осуществлялись по мостовой схеме на стандартной тензометрической аппаратуре УТС-ВТ-I2. Тарировка производилась на прессе. Импульсы давления в буферной камере записывались на фотобумагу при помощи шлейфового осциллографа К-I05. Пример записи импульсов давления показан на рис. 7.

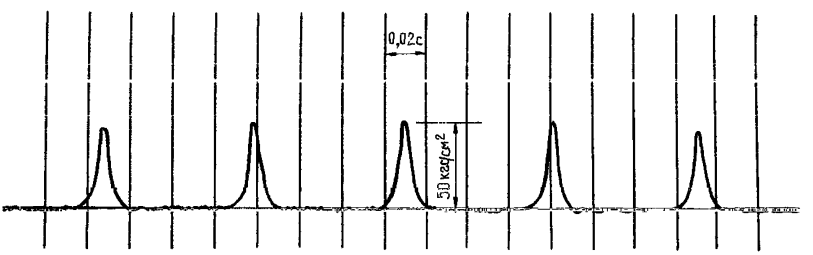

Рис. 7. Осциллограмма импульсов давления в буферной камере

Ударные импульсы на штоке рабочего инструмента измерялись при помощи специальной аппаратуры ИПУ-I, разработанной в лаборатории борьбы с шумом и вибрацией горных машин [I]. Для регистрации ударных импульсов малой длительности (доли миллисекунды) применялся тот же тензорезистор, наклеенный на штоке рабочего инструмента, что и в случае измерения длительных импульсов давления в пневмобуфере. Однако в этом случае тензорезистор включался по потенциометрической схеме.

Аппаратура ИПУ-I – широкополосный усилительный тракт, позволяющий регистрировать без искажения короткие импульсы с крутым передним фронтом. Запись импульсов[x)] может осуществляться в двух

x) Все замеры на аппаратуре ИПУ-I производились при участии автора этой аппаратуры инж. В.А.Кашаева.

видах: путем фотографирования на кинопленку с экрана электронно-лучевой трубки можно получить истинную форму упругого ударного импульса, позволяющую определить его длительность и максимальную амплитуду (рис. 8); кроме того, можно получить серию записей максимальной амплитуды ударов при помощи шлейфового осциллографа (рис. 9).

Движение бойка фотографировалось при помощи скоростной кинокамеры СКС-4 при частоте 3000 кадров в секунду. По кинограммам движения бойка строились графики смещения. Скорость бойка определялась путем дифференцирования графиков смещения. По максимальному значению скорости бойка при рабочем ходе вычислялась его кинетическая энергия (рис. 10).

Результаты экспериментальных исследований параметров дизель-импульсного струга с приводом ДИП

В результате экспериментальных исследований определены параметры импульсного струга с приводом ДИП, представленные в табл.1 и на рис. 6.

Кинетическая энергия бойка, определенная по кинограммам смещения бойка, составляет в среднем 126 кгс.м. Максимальная скорость бойка достигается в момент, предшествующий открытию выхлопного отверстия рабочего цилиндра, и составляет в среднем 11,5 м/с.

При полностью выдвинутом штоке инструмента, когда $\ell_3 = 0$ (рис. 6), для сжатия воздуха в пневмобуфере до соприкасания бойка со штоком рабочего инструмента нужно затратить 144 кгс.м. Таким образом, при максимальном вылете инструмента удары бойка по инструменту не возникают. При вдвигании штока инструмента в корпус количество энергии, идущее на сжатие воздуха в пневмобуфере, уменьшается, и при заглублении штока инструмента в корпус на 17 мм энергии становится достаточно для соприкасания бойка со штоком рабочего инструмента. Осциллограммы усилия на штоке рабочего инструмента показали, что удары начинаются тогда, когда заглубление достигает 17,5 мм. Таким образом, совпадение расчетного значения (17 мм) с экспериментальным хорошее. При дальнейшем вдвигании штока инструмента возникают удары. Нагрузка на шток и, следовательно, инструмент передается в виде суммы растянутого пневмоимпульса и кратковременного ударного импульса.



Рис. 8. Осциллограмма ударного силового импульса на штоке рабочего инструмента

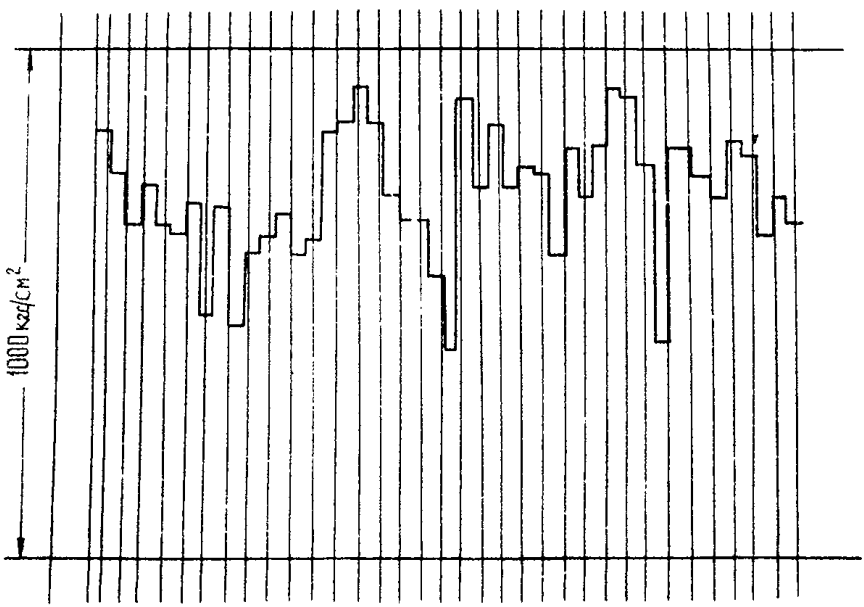

Рис. 9. Серия ударов бойка по штоку рабочего инструмента (максимальные амплитуды ударных импульсов)

Таблица I

Экспериментальные параметры импульсного струга с приводом ДИП

Глубина вдвигания инструмента, мм	Давление в буферной камере (макс.), кгс/см^2	Коэффициент вариации давления, %	Частота ударов, Гц		Полная кинетическая энергия бойка, кгс.м (средние значения)	Длительность пневмоимпульса, $\times 10^{-3}$ с	Длительность ударного импульса, $\times 10^{-3}$ с	Амплитуда ударного импульса, тс	Примечание
			по тензометрии	по кинограмме					
			Масса бойка 19 кг						
0					I26				Ударов нет
2,5	59,8	II,6	I4,5	I4,3	I26	I5			-"-
5	56,4					I3			-"-
I0	58,6					I5			-"-
I2,5	54,2					I0			-"-
I5	57,8					I4			-"-
I7,5	60,5					I3			Появление ударов
20	54,I	I2,58	I4,6			II			-"-
2I	-			I5	I26				-"-
22	-			I4,2	I26				-"-
25	-						0,3	26,8	-"-
	$\bar{P}_{max}$ = 57,3					$\Delta\bar{t}$ = I3			
			Масса бойка 33,5 кг						
2,5	56	5	II			I9			
7,5	54,7		I0,85			I6			
I0	54,5					I6			
I2,5	57					I8,5			
I5	54					I6			
20	56,7					-			
30-35	54,2	3	9,6			-	0,27	I3	Появление ударов
	$\bar{P}_{max}$ = 55,28					$\Delta\bar{t}$ = I7,I			

Как показывают осциллограммы, длительность пневмоимпульса давления на штоке рабочего инструмента на уровне 0,I от амплитуды составляет в среднем I3 мс при легком бойке (масса бойка I9 кг) и I7 мс при тяжелом бойке (масса 33,5 кг). Средняя амплитуда импульса давления при легком бойке составляет 57,3 кгс/см^2 (рис. 6, кривая 3), а сила давления на штоке рабочего инструмента – 7,56 тс. Коэффициент вариации примерно равен I2%. При тяжелом бойке средняя амплитуда импульса давления 55,28 кгс/см^2, сила давления – 7,3I тс при коэффициенте вариации 5%.

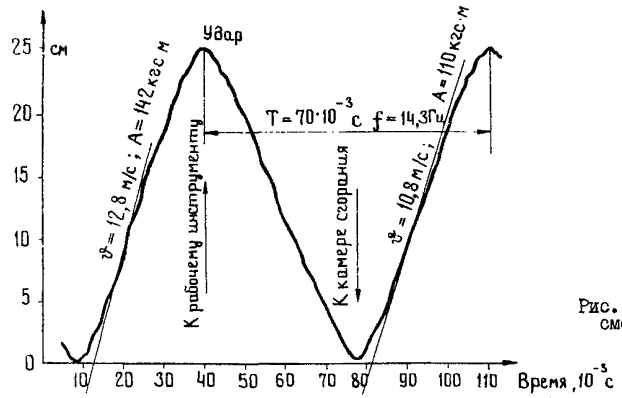

Рис. I0. Кинограмма смещения бойка

Оценим коэффициент динамичности системы "рабочий инструмент–горный массив" при воздействии пневмоимпульсов давления, т.е. при передаче нагрузки через пневмобуфер. Установлено, что с изменением толщины стружки от 5 до 20 см при вязком угле (крепость по СДМ 230 кгс/см) собственная частота колебаний рабочего инструмента массой 3,I7 кг·с^2/м на массиве увеличивается от 50 до I00 Гц. Согласно работе [2], при воздействии на эту систему импульсов длительностью I3–I5 мс коэффициент динамичности равен единице, т.е. импульсное силовое воздействие такого типа эквивалентно статическому воздействию, величина которого равна амплитуде импульса.

Длительность первых двух полупериодов ударного импульса (рис. 8) составляет 0,3 мс. При этом коэффициент динамичности приблизительно равен 0,06. При легком бойке средняя амплитуда ударного импульса составляет 26,8 тс (коэффициент вариации I7%). Таким образом, эквивалентное этому импульсу статическое усилие составляет всего $P_{стат} \approx 26{,}8$ тс·0,06 $\approx$ I,6 тс, т.е. приблизительно равно 20% нагрузки, передаваемой пневмобуфером.

Измерения давления в пневмобуфере при разных величинах вылета рабочего инструмента (рис. 6) показали, что максимальное давление не зависит от величины вылета: когда давление достигает величины порядка 57 атм, боек отбрасывается назад независимо от первоначального объема пневмобуфера.

Полная энергия бойка, согласно оценкам, полученным по кинограммам, составляет 126 кгс.м. Для возврата бойка и обеспечения в рабочем цилиндре степени сжатия, необходимой для воспламенения горючей смеси, нужна энергия 73 кгс·м. Таким образом, на полезную работу может идти 53 кгс·м, и верхняя граница оценки КПД дизель-импульсной машины ДИП составит 53:126 = 42%. На самом деле КПД машины ниже, так как часть энергии уходит на откатку корпуса и т.д.

Согласно тензометрическим осциллограммам давления в буферной камере и кинограммам смещения бойка, частота циклов дизель-импульсного привода ДИП при легком бойке составляет 14,5 Гц, при тяжелом – 10–11 Гц; соответственно полная мощность при легком бойке – около 18 кВт, а полезная мощность – примерно 7,55 кВт. При тяжелом бойке полная мощность равна ~ 13 кВт, т.е. почти на 30% ниже, чем при легком.

При передаче нагрузки через пневмобуфер, а этот режим работы является предпочтительным, масса бойка несущественна для создания нагрузки на инструменте, так как боек по сути дела играет роль диафрагмы, разделяющей буферную полость и рабочий цилиндр. С другой стороны, с увеличением массы бойка растут инерционное сопротивление и потери на трение, уменьшается частота, снижается полезная мощность машины. Все это показывает, что необходимо, по возможности, уменьшать массу бойка.

4. ИСПЫТАНИЯ ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА НА СТЕНДЕ СИТ-1[x)]

На стенде СИТ-1, имитирующем крутой пласт, были проведены испытания импульсного струга с приводом ДИП и комплексом ВКС-1 в условиях, приближенных к промышленным. Пласт угля мощностью 0,5 м с углом падения 65° имитировался при помощи углецементного блока. Длина углецементного блока по падению составляла 10 м, сопротивляемость разрушению – 150 кгс/см.

---

x) В работах по испытаниям импульсного струга с приводом ДИП на стенде СИТ-1 принимали участие сотрудники лаборатории технологии разработки тонких крутых пластов инж. А.Д.Кидерман и В.И.Волченков.

Комплекс ВКС-I состоял из следующих основных элементов: базовой балки, выполненной из линейных и опорных секций с распорными стойками и домкратами передвижки, верхнего удерживающего устройства и нижней крепи сопряжения. Подача струга осуществлялась от гидродвигателя НРА-I0 мощностью I00 кВт и насосной станции НУ-I00.

Программа испытаний включала:

проверку работоспособности импульсного струга с приводом ДИП и комплексом ВКС-I;

оценку эффективности разрушения углецементного блока;

определение тягового усилия, усилия отжатия, скорости движения и производительности струга.

В процессе испытаний толщина скалываемой стружки менялась от I00 до 250 мм, вынимаемая мощность составляла 300 мм, угол атаки резца $I0^{o}$.

В результате испытаний были сделаны следующие основные выводы:

I. Конструкция дизель-импульсного струга работоспособна и может эффективно разрушать крепкие и вязкие угли.

2. Наибольшая эффективность разрушения массива дизель-импульсным стругом обеспечивается при толщине скалываемой стружки I50 мм.

3. При рабочем ходе струга и толщине стружки I50 мм тяговое усилие не превышало 3,5 тс, скорость струга при этом составляла 0,5 м/с, при увеличении толщины стружки до 250 мм скорость струга снижалась до 0,3 м/с, тяговое усилие возрастало до 4-4,5 тс.

В результате испытаний дизель-импульсного струга с приводом ДИП определена его экспериментальная производительность при различных толщинах скалываемой стружки (табл. 2).

5. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНОГО МАССИВА. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА С ПРИВОДОМ ДИП

Метод механического импеданса [2. 3] позволяет оценить глубину внедрения рабочего инструмента, если известна полезная энергия или амплитуда и длительность силового импульса на штоке рабочего инструмента, а также жесткость системы "рабочий инструмент-массив".

Таблица 2

Производительность дизель-импульсного струга

Толщина стружки h, см	Жесткость $K \cdot 10^6$ (по номограмме в работе [2]), кгс/м	Расчетный шаг скола (по энергии) $\sqrt{\frac{E_n}{0{,}685K}}$ см	Расчетная производительность, (по энергии), м³/мин	Собственная частота системы "инструмент-массив" f_0, Гц	Эквивалентное статическое усилие $F_{стат}$, тс	Расчетный шаг (по усилию) скола $\frac{F_{стат}}{K}$, см	Расчетная производительность, (по усилию), м³/мин	Скорость струга, м/с	Экспериментальная производительность, м³/мин	Вынимаемая мощность пласта, м
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
5	0,2	I,96	0,264	40	8,23	4,I0	0,55	0,5	0,45	0,3
I0	0,4	I,39	0,376	58	8,49	2,I2	0,60	-	-	-
I5	0,6	I,I4	0,46I	67	8,63	I,43	0,58	0,2-0,3	0,54-0,80	0,3
20	0,8	0,98	0,530	79	8,84	I,II	0,60	0,I5	0,54	0.3
25	I,0	0,88	0,590	88	8,90	0,89	0,60	0,I	0,45	0,3

Глубина внедрения X_0 определяется по величине полезной энергии E_n:

$$X_0 = \sqrt{\frac{E_n}{0{,}685K}} \qquad (9)$$

или по эквивалентному статическому усилию $F_{стат}$:

$$X_0 = \frac{F_{стат}}{K} . \qquad (10)$$

Для импульсного струга с приводом ДИП отдаваемая (полезная) энергия E составляет 53 кгс.м, а эквивалентное статическое усилие равно $F_{стат} = F_1\beta_1 + F_2\beta_2$, где слагаемые означают нагрузку, передаваемую соответственно пневмобуфером и ударом бойка о шток рабочего инструмента.

При разрушении горного массива крепостью 230 кгс/см при толщинах стружки 5–25 см коэффициенты динамичности $\beta_1 = 1$, $\beta_2 = 0{,}03–0{,}06$. Соотьетстьенно эквивалентное статическое усилие составляет 8,36–9,15 тс. При уменьшении крепости до 150 кгс/см коэффициент динамичности β_1 остается равным I, а β_2 снижается до 0,025–0,050 вследствие уменьшения собственной частоты системы "рабочий инструмент–массив". Снижается и эквивалентное статическое усилие:

$$F_{стат} \approx 8{,}23–8{,}9 \text{ тс.}$$

Жесткость в системе "рабочий инструмент–массив" зависит не только от прочностных свойств массива, но и от толщины скалываемой стружки, ширины резца и угла заострения режущей кромки. Методы определения жесткости подробно рассмотрены в работах [2] и [3]. В работе [2] приведена номограмма, показывающая зависимость жесткости от толщины скалываемой стружки и крепости.

Определив шаг скола X_0 и зная ширину резца L, можно вычислить объем горной массы, отбиваемой за один удар при заданной толщине стружки h :

$$V = X_0 \cdot h \cdot L . \qquad (11)$$

Если частота ударов ν, а удельный вес горной породы γ, то минутная производительность струга

$$Q = 60 \cdot X_0 \cdot h \cdot L \cdot \nu \cdot \gamma . \qquad (12)$$

В табл. 2 приведены расчетные величины производительности импульсного струга с приводом ДИП при разных толщинах стружки для случая разрушения массива крепостью 150 кгс/см по СДМ при ширине резца L = 30 см. В правой части таблицы для сравнения приведены средние величины производительности, полученные при стендовых испытаниях ДИП (раздел 4). Экспериментальная производительность определялась по сечению стружки и средней скорости движения струга.

Рассмотрим подробнее табл. 2. В графе 3 шаг продвижения инструмента рассчитан по величине полезной энергии $E_п$ = 53 кгс·м на основании формулы (9), соответствующие этому шагу величины производительности приведены в графе 4. В графе 7 приведены расчетные значения шага скола на разных толщинах стружки, вычисленные по эквивалентному статическому усилию [формула (10)], а в графе 8 - соответствующие значения объемной производительности. Как было описано в разделе 3, значения полезной энергии и амплитуды силового импульса для определения эквивалентного статического усилия получены независимо: полезная энергия вычислялась по кинограммам движения бойка, а амплитуда активной нагрузки на инструменте определялась тензометрированием. Поэтому оценки шага скола и производительности в графах 4 и 8 являются независимыми.

Численно эти оценки удовлетворительно совпадают с экспериментальными значениями производительности, полученными при испытании на углецементном блоке (СДМ = 150 кгс/см) и приведенными в графе 10.

Оценки производительности по полезной энергии несколько занижены, а по эквивалентному усилию - завышены по сравнению с экспериментальными. Хотя в среднем численные значения оценки производительности по методу импедансов согласуются с экспериментальными, зависимость производительности от толщины стружки отличается от наблюденной на опыте: опытная производительность имеет максимум на стружке 15 см и спадает как при больших, так и при меньших толщинах стружки, в то время как оценка производительности по эквивалентному статическому усилию не зависит от толщины стружки, а по полезной энергии монотонно растет с толщиной стружки. Получить регистрируемое на опыте снижение производительности с ростом толщины стружки в рамках линейной зависимости жесткости от толщины стружки нельзя, при больших толщинах

стружки (более 30 см) номограмма, приведенная в работе [2], перестает быть справедливой: с увеличением толщины стружки жесткость растет быстрее, чем по линейному закону.

6. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НЕКОТОРЫХ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА

Для расчета режимов разрушения горного массива необходимо знать величину полезной энергии на штоке рабочего инструмента дизель-импульсного струга или величину и длительность ударного импульса и пневмоимпульса на штоке рабочего инструмента.

В дизель-импульсных свободно-поршневых приводах, подобных приводу ДИП, приближенно оценить полную кинетическую энергию бойка можно по максимальному объему рабочего цилиндра. Приводы такого типа работают при степени сжатия порядка 18–20. В приводе ДИП максимальный объем рабочего цилиндра 1145 $см^3$, при этом полная энергия равна 126 кгс·м. Таким образом, для получения заданной полной кинетической энергии бойка в дизель-импульсном приводе A кгс·м нужно, чтобы объем рабочего цилиндра составлял (в $см^3$)[x] $V_{р.ц} = \frac{1145}{126} A \approx 9{,}1 A$.

Например, если линейные размеры рабочего цилиндра дизель-импульсного привода вдвое превышают размеры ДИП, то полная энергия цикла такого привода составит

$$A_{полн} = 126 \cdot 2^3 \approx 1000 \text{ кгс.м.}$$

Для оценки полезной энергии привода можно воспользоваться значением КПД, полученным для дизель-импульсного привода ДИП: при $\eta \approx 40\%$ $E_п \approx 0{,}4 A_{полн}$.

Величина шага скола X_0 может быть получена по формуле $X_0 = \sqrt{\frac{E_п}{0{,}685K}}$, где K – жесткость в системе "рабочий инструмент–массив".

Параметр K определяется на основании номограммы, приведенной в "Методике оптимизации процесса импульсного разрушения" [2]. При этом надо знать толщину скалываемой стружки h и сопротивляемость горного массива разрушению динамометрическим сверлом СДМ.

---

x) Поскольку в приводе ДИП процесс сгорания топлива не оптимизирован, предлагаемые формулы дают заниженные оценки энергии.

Номограмма составлена для резца шириной $L = 30$ см. Если применяется резец другой ширины L_1, то необходимо ввести поправку в значение K:

$$K_1 = K \frac{L_1}{30} .$$

Для определения производительности нужно вычислить объем породы, отбиваемой за один удар

$$V_1 = X_0 \cdot h \cdot L ,$$

где X_0 – шаг скола;
h – толщина скалываемой стружки;
L – ширина резца.

Этот объем умножается на число ударов в секунду ν.

Таким образом, производительность в секунду будет:

$$Q = X_0 \cdot h \cdot L \cdot \nu .$$

Для определения частоты ударов ν можно воспользоваться соотношением между амплитудным и среднеэффективным значением скорости бойка:

$$v_{эф} = v_{max} / \sqrt{2} .$$

Это соотношение верно для синусоидального закона изменения скорости во времени. Поскольку закон изменения смещения бойка во времени близок к синусоидальному, как это видно из кинограммы рис. 10, скорость также изменяется во времени приблизительно синусоидально.

Если длина хода бойка равна X, то длительность полупериода $\frac{T}{2} = \frac{X}{v_{эф}}$, а частота $\nu = \frac{v_{эф}}{2X}$, Гц.

Максимальная скорость движения бойка может быть оценена по величине его полной энергии A: $v_{б\,max} = \sqrt{\frac{2A}{m}}$, где m – масса бойка.

Так, в дизель-импульсном приводе ДИП при полной энергии 126 кгс.м и массе бойка 2 кгс^2/м максимальная скорость бойка $v_{б\,max} \approx 11$ м/с. Ход бойка равен 27,6 см, таким образом, частота составит

$$\nu = \frac{11}{2\sqrt{2} \cdot 27{,}6 \cdot 10^{-2}} \approx 14{,}5 \text{ Гц.}$$

Эта частота полностью совпадает с экспериментальным значением частоты (см. табл. I).

Давление в пневмобуфере и максимальную потенциальную энергию сжатого пневмобуфера можно рассчитать по адиабатическому закону.

Расчет производится в два этапа. Сначала определяется компрессионное давление $p_к$, равное давлению продувки:

$$p_к = \frac{p_o}{\left(1 - \frac{V_к}{V_к + V_б + V_{пр}}\right)^{\gamma}},$$

где $V_к$ – объем компрессорной части цилиндра;

$V_б$ – объем буферной части цилиндра;

$V_{пр}$ – объем продувочной емкости;

p_o = I ата, в случае всасывания из атмосферы.

Максимальное давление в буфере

$$p_{б\,max} = p_к \left(\frac{V_б}{V_{б\,min}}\right),$$

где $V_{б\,min}$ – минимальный буферный объем.

Потенциальная энергия сжатого пневмобуфера

$$E_{потенц.\,б} = \frac{p_к V_б}{1-\gamma}\left[1 - \left(\frac{V_{б\,min}}{V_б}\right)^{1-\gamma}\right],$$

где γ = I,38 – I,42.

При расчете давления и потенциальной энергии пневмобуфера удобно пользоваться вспомогательными номограммами (рис. 3–5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в методике зависимости и формулы позволяют в первом приближении рассчитывать кинематические, силовые и энергетические параметры стругов со свободно-поршневыми дизель-импульсными приводами, если задана их производительность и крепость разрушаемого горного массива. Расчет может быть выполнен и в обратном порядке – по заданным размерам и полезной энергии дизель-импульсного струга можно определить шаг скола и производительность струга при заданных прочностных характеристиках горного массива.

Сопоставление расчетов с экспериментальными параметрами дизель-импульсного струга с приводом ДИП показало сходимость порядка 20%.

Методика предназначена для использования при конструировании свободно-поршневых дизель-импульсных стругов и оценки их производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анцыферова Н.Г., Чижиков А.В., Кашаев В.А. Результаты измерения силовых импульсов, возникающих на штоке рабочего инструмента импульсного струга. – "Горные машины и автоматика", М., 1972, № II (152).

2. Докукин А. В., Красников Ю. Д., Анцыферова Н. Г., Чижиков А. В. Методика оптимизации процесса импульсного разрушения углей и горных пород. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1972.

3. Красников Ю. Д., Анцыферова Н. Г., Чижиков А. В. Методика оценки работы разрушения горного массива, расчета силовых и кинематических параметров и КПД взрыво-импульсных систем. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1974.

Юрий Дмитриевич Красников,
Нина Григорьевна Анцыферова,
Аркадий Васильевич Чижиков,
Иван Васильевич Михайлин

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НЕКОТОРЫХ ОСНОВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИЗЕЛЬ-ИМПУЛЬСНОГО СТРУГА

Редактор И.П.Сидорова

Т-17233 Тираж 500 Изд. № 7585 Цена 15 коп. Заказ № 1861

Типография Института горного дела им. А.А.Скочинского
л. Подписано к печати 30/IX 1975 г.

gost.e-ecolog.ru