

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева»

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения»

# Технология изготовления породоразрушающих инструментов

Специальность 6М071200 – «Машиностроение»

Форма обучения	Дневная
Всего	2 кредита
Курс	1
Семестр	2
Лекций	30 часов
Практические занятия	15 часов
Рубежный контроль	2
СРМП	45 часов
СРМ	45 часов
Трудоемкость	135 часов
Экзамен	2 семестр

В.В. Поветкин  
д.т.н., профессор



## **ТЕМА 7 – ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ БУРЕНИИ ШПУРОВ.**

- Влияние частоты вращения инструмента на процесс бурения.

Как известно, математические модели динамики машин базируются на преобразованиях уравнения Лагранжа. Применительно к бурильной установке БУЭ-1М принятые эквивалентные схемы систем подачи и вращателя согласно ранее выполненным исследованиям можно представить двухмассовыми системами

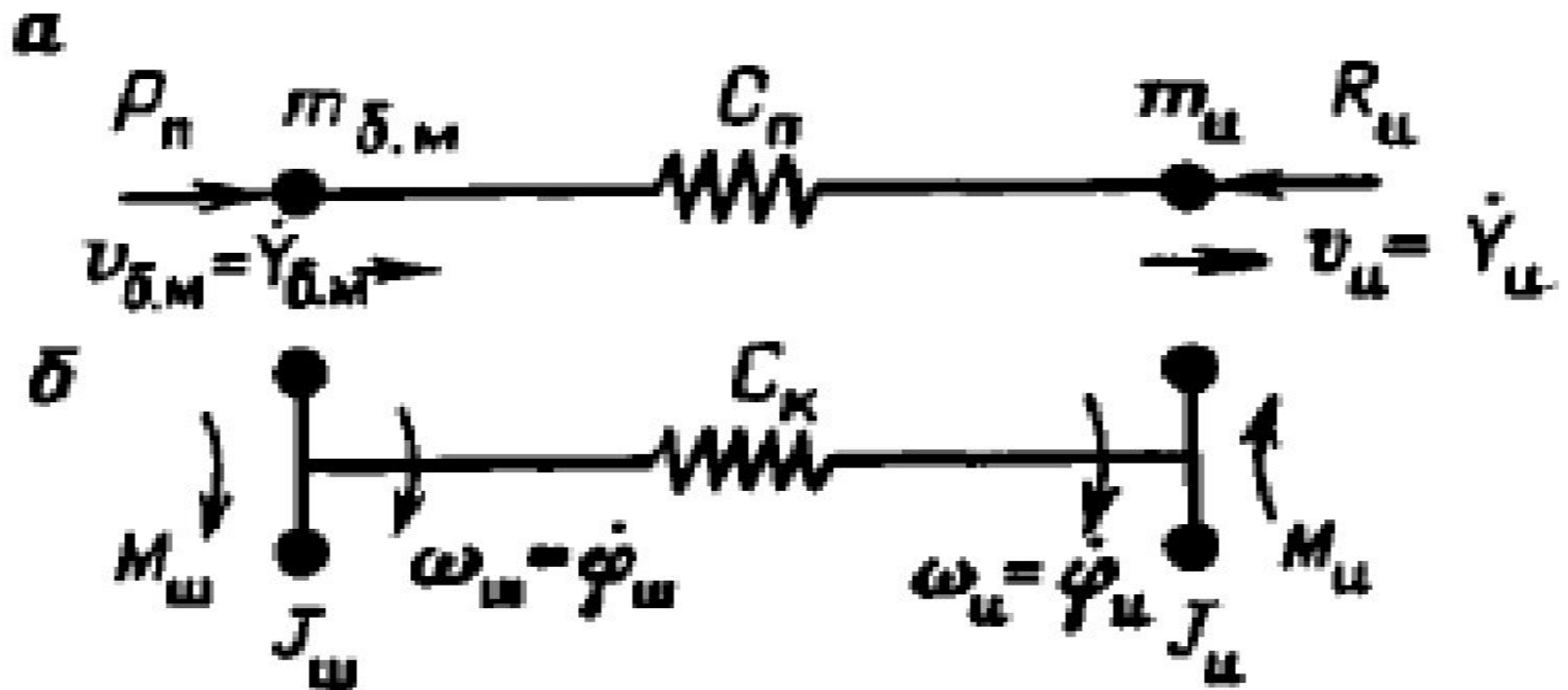


Рисунок 7.1 – Эквивалентные схемы:  
 а – системы подачи; б – системы вращателя.

которые без учета диссипативных потерь описываются следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{Y}_{б.м}} \right) - \frac{\partial T}{\partial Y_{б.м}} + \frac{\partial \Pi}{\partial Y_{б.м}} &= P_{п}; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{Y}_{и}} \right) - \frac{\partial T}{\partial Y_{и}} + \frac{\partial \Pi}{\partial Y_{и}} &= -R_{и}; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\Phi}_{ш}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \Phi_{ш}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \Phi_{ш}} &= M_{ш}; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\Phi}_{и}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \Phi_{и}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \Phi_{и}} &= -M_{и}, \end{aligned} \right\}$$

где  $T, \Pi$  — кинетическая и потенциальная энергия системы;  $Y_{б.м}, Y_{и}, \Phi_{ш}, \Phi_{и}$  — обобщенные координаты линейных и угловых перемещений масс;  $P_{п}$  — усилие подачи;  $R_{и}$  — усилие сопротивления резца внедрению;  $M_{ш}$  — момент, развиваемый двигателем вращателя, приведенный к шпинделю;  $M_{и}$  — момент сопротивления на резце.

Выражения для определения кинетической ( $T$ ) и потенциальной ( $\Pi$ ) энергий системы:

$$T = (m_{б.м} \dot{Y}_{б.м}^2 + m_{и} \dot{Y}_{и}^2 + J_{ш} \dot{\varphi}_{ш}^2 + J_{и} \dot{\varphi}_{и}^2) / 2;$$

$$\Pi = [C_{п} (Y_{б.м} - Y_{и})^2 + C_{к} (\varphi_{ш} - \varphi_{и})^2] / 2,$$

где  $m_{б.м}$ ,  $m_{и}$ ,  $J_{ш}$ ,  $J_{и}$  — приведенные к шпинделю и к инструменту массы и моменты инерции;  $C_{п}$ ,  $C_{к}$  — приведенные к штанге продольная и крутильная жесткость.

Значения параметров, входящих в уравнения (7.4), приведены в табл. 7.1 для бурильной установки БУЭ-1М.

Таблица 7.1- Значение параметров для уравнения (7.4) для бурильной установки БУЭ-1М.

Параметры	Обозначение	Значение
Масса бурильной машины, кг	$m_{б.м}$	210
Скорость вращения шпинделя, рад/с	$\dot{\varphi}_{ш}$	15,7; 33,0; 76,6
Рабочая скорость подачи, м/с	$\dot{Y}_{б.м}$	0,024
Усилие подачи (максимальное), кН	$P_{п}$	17,0
Длина штанги, м	$L_{ш}$	3,5
Внешний диаметр штанги, м	$D$	0,032
Внутренний диаметр штанги, м	$d$	0,008
Мощность двигателя вращателя, кВт (марка ВАО 52—4)	$N$	7,5
Номинальная частота вращения, об/мин	$n_{ном}$	1460
Маховый момент ротора, Н·м <sup>2</sup>	$GD^2$	2,34
Кратность максимального вращающего момента по отношению к номинальному	$\lambda_{м}$	2,6

Момент, развиваемый электродвигателем вращателя:

$$M_{\theta} = 2M_{\kappa} S_{\kappa} S_{\text{ном}} / (S_{\kappa}^2 + S_{\text{ном}}^2)$$

где  $M_{\kappa} = 975 \lambda_m N / n_{\text{ном}}$  — критический момент, Н·м.

## Критическое скольжение

$$S_k = S_{\text{НОМ}} \left[ \lambda_M + \sqrt{(\lambda_M - 1)(\lambda_M + 1 + 2\alpha S_{\text{НОМ}})} \right] / [1 - 2\alpha S_{\text{НОМ}}(\lambda_M - 1)],$$

где  $S_{\text{НОМ}} = 0,02662$  — номинальное скольжение;  $\alpha=1$  - для двигателей нормального исполнения.



Таблица 7.2 - Значения рассчитанных параметров буровых штанг.

Тип штанги	Сечение, $\text{м}^2 \times 10^{-4}$	Длина $L_{ш}, \text{м}$	Масса, кг	Продоль- ная жест- кость $C_{п}$ , $\text{Н/м} \times 10^7$	Крутиль- ная жест- кость $C_{к}$ , $\text{Н-м/рад} \times$ $\times 10^3$	Момент инерции, $\text{кг-м}^2 \times 10^{-4}$
Сталь буровая $D=32 \text{ мм};$ $d=8 \text{ мм}$	7,54	1	5,88	15,07	8,38	8,14
		2	11,76	7,54	4,19	16,28
		3,5	20,60	4,31	2,33	28,49
Труба стальная $D=32 \text{ мм};$ $d=22 \text{ мм}$	4,24	1	3,31	8,48	3,2	4,0
		2	6,62	4,24	1,6	8,0
		3,5	11,59	2,42	0,9	14,1
Сталь витая $36 \times 18 \text{ мм}$	—	1	2,53	5,48	9,36	0,91
		2	5,06	3,24	4,68	1,84
		3,5	8,86	1,85	2,67	3,22

Остальные значения параметров: согласно методу Рэлея, позволяющего массу штанги представить как распределенную, к массе (моменту инерции) шпинделя и к массе (моменту инерции) инструмента необходимо прибавить  $\frac{1}{3}$  массы (момента инерции) штанги.

Тогда, при  $L_{\text{ш}} = 3,5$  м,  $J = 1,271$  кг·м<sup>2</sup>;  $J_{\text{и}} = 9,5 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>2</sup>;  $m_{\text{б.м}} = 216,8$  кг;  $m_{\text{и}} = 6,8$  кг.

Использование этого метода весьма трудоемко, так как связано с разработкой сложных алгоритмов и большими затратами машинного времени. Кроме того, аналитические описания последовательности формирования сколов на забое и миграции мгновенной оси вращения резца пока еще не обладают достаточной для адекватного воспроизведения точностью.

Поэтому в расчетной схеме авторами был принят другой подход, основанный на установлении закономерностей процесса формирования нагрузок в целом на резце без влияния на него динамики системы. Суть подхода заключается в том, что для заданной конструкции бурового резца находят зависимости усилия  $R_{и}$  и момента сопротивления  $M_{и}$  от угла поворота  $\varphi_{и}$  и описывают их посредством средних, и коэффициентов, учитывающих только динамику процесса разрушения пород буровым резцом:

$$R_{и} = P_{ср} K_p; \quad M_{и} = M_{ср} K_m.$$

## 7.1. Влияние частоты вращения инструмента на процесс бурения

Экспериментальные исследования были выполнены при бурении мрамора, песчаника, мелкозернистого песчаника, известняка с принудительной и свободной подачами практически острыми и затупленными резцами РП-42, БИ-741А, РУ-13М и РПД-42 на токарном и сверлильном станках, колонковом сверле ЭБГП-1, которые показали, что при любых условиях при изменениях частоты вращения от 22 до 900 об/мин наблюдался значительный рост усилия подачи при принудительной подаче или значительное снижение подачи на оборот при свободной подаче. Интенсивность изменения крутящего момента от частоты была невысокой, а в ряде случаев отсутствовала.

На следующем слайде приведены типичные графики зависимости частоты вращения инструмента от его подачи при бурении мелкозернистого песчаника и известняка с контактной прочностью  $P_k = 1500$  и  $1130$  МПа и абразивностью соответственно  $a = 27$  и  $1,4$  мг.

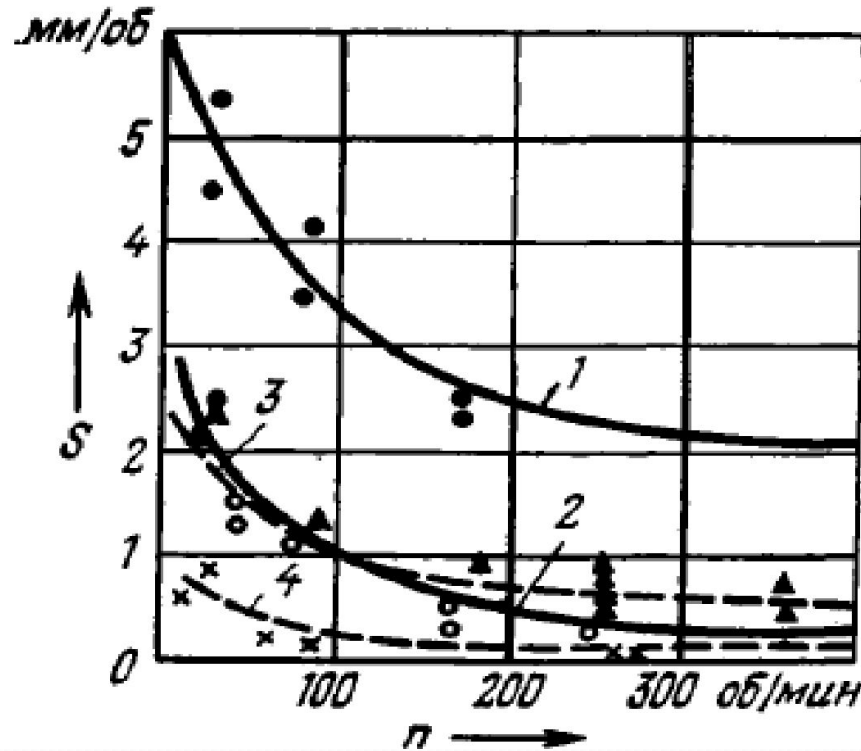


Рисунок 7.2 – Зависимости подачи на оборот от частоты вращения инструмента со свободной подачей:

1 — резец РП-42,  $P_y = 4$  кН,  $F_{\text{заг}} = 5$  мм<sup>2</sup>;  
 2 — резец РП-42,  $P_y = 6$  кН,  $F_{\text{заг}} = 22$  мм<sup>2</sup> по  
 песчанику с  $P_K = 1500$  МПа,  $a = 27$  мг; 3 —  
 резец РПД-42,  $P = 6$  кН,  $F_{\text{заг}} = 5$  мм<sup>2</sup>; 4 —  
 резец РП-42,  $P = 4$  кН,  $F_{\text{заг}} = 5$  мм<sup>2</sup>, по из-  
 вестняку с  $P = 1130$  МПа,  $a = 14$

Результаты обработки экспериментальных данных при бурении песчаника с контактной прочностью  $P_k = 1776$  МПа и абразивностью 15,3 мг резцами БИ-741А при усилии подачи, равном 8; 12; 16; 20; 24; 28 кН, представлены на слайде:

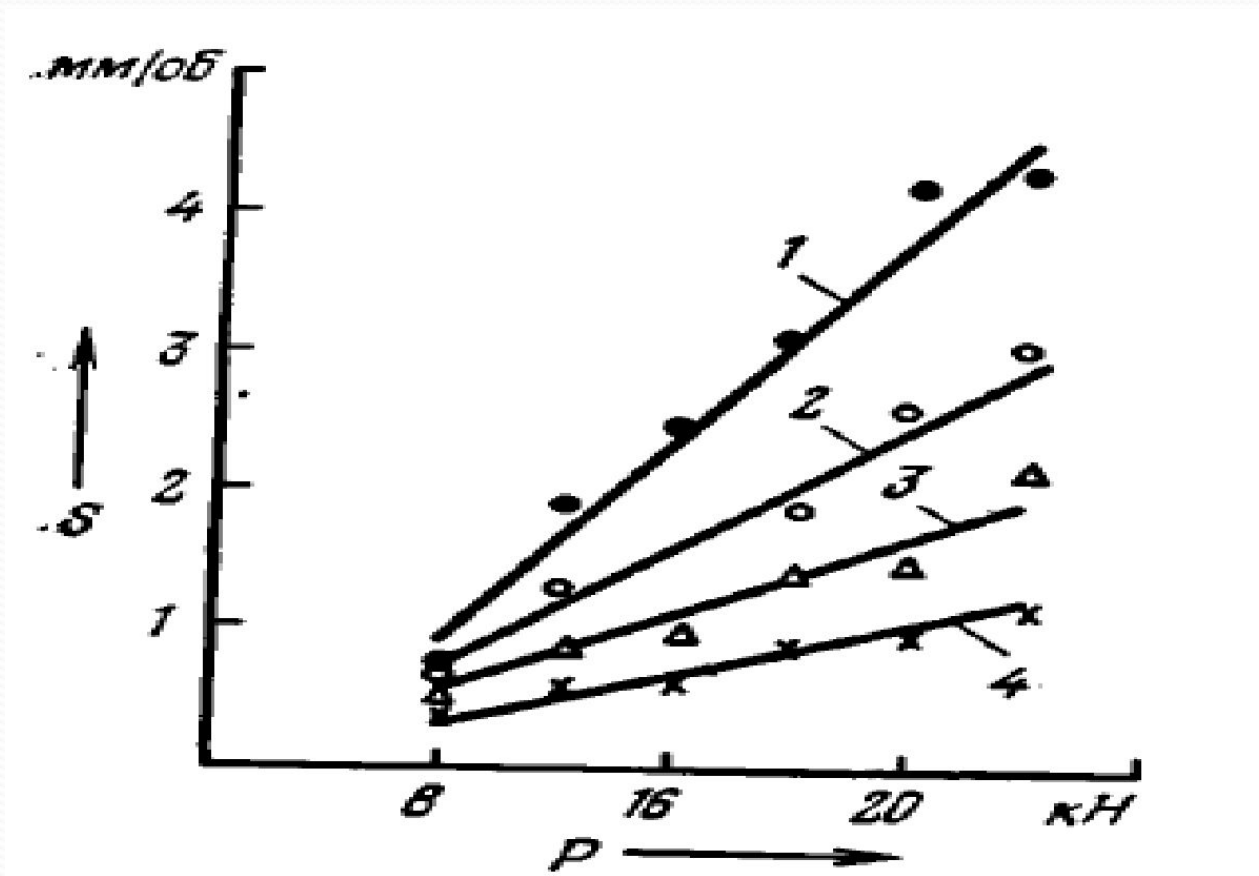


Рисунок 7.3 – Зависимость подачи инструмента от усилия подачи  $P$  и частоты вращения  $n$ :

1 –  $n = 90$  об/мин.; 2 –  $n = 155$  об/мин.; 3 –  $n = 280$  об/мин.; 4 –  $n = 435$  об/мин.

Увеличение усилия подачи и крутящего момента с увеличением частоты вращения является следствием влияния на физико-механические свойства породы скорости ее разрушения, проведены замеры усилия подачи и силы резания при резании известняка (того же блока породы, что и при бурении на сверлильном станке) острым стержневым резцом с шириной режущей кромки 8 мм на карусельном станке с толщиной стружки 1 мм. Из построенных по результатам этого эксперимента графиков (рис. 7.4) видно, что при изменении скорости резания в довольно широком диапазоне — от 0,7 до 3 м/с усилие подачи и сила резания остаются практически неизменными.

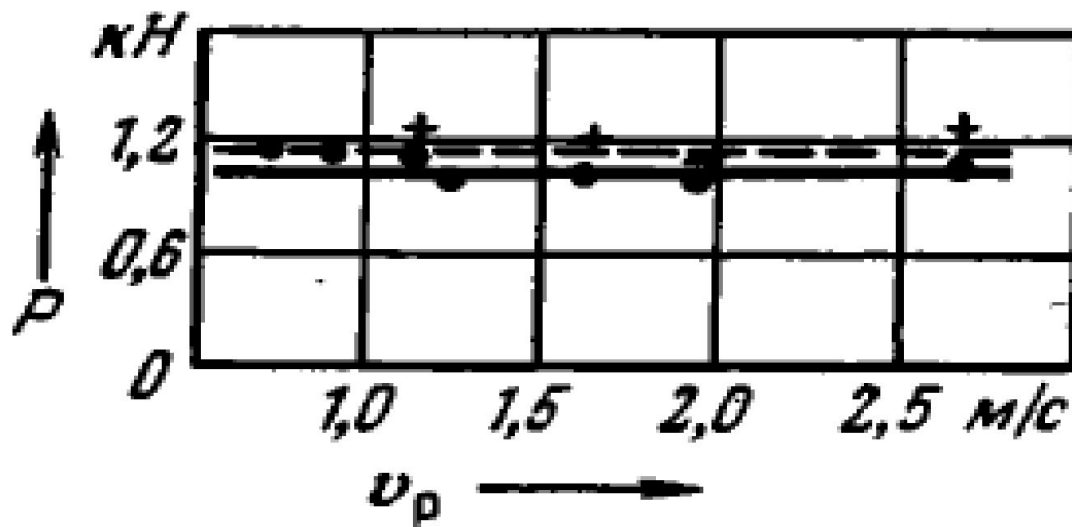



Рисунок 7.4 – Зависимость усилия резания  $P_z$  и усилия подачи  $P_y$  от скорости резания  $v_p$  (известняк  $P_k = 1130$  Мпа,  $a = 1,4$  мг)



Усилия подачи (Н) при бурении шпуров в зависимости от частоты вращения (об/мин) следующие:

	22 об/мин	251 об/мин
<b>Усилие подачи, Н:</b>		
при бурении резцом БИ-741А	1140	2160
при разбурировании шпура		
без центратора	720	1320
с центратором	840	1260





Таким образом, некоторое снижение интенсивности роста: усилий подачи при увеличении частоты вращения можно получить, применяя центрирующие устройства на резце, исключаящие его поперечные колебания.