

Д. И. КУЗЬМЕНКО

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БУРОВОМ ДОЛОТЕ-РАСШИРИТЕЛЕ ДЛЯ БУРЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ СКВАЖИН

Розглядається динамічні процеси в буровому інструменті. Приведена методика проектування бурових доліт-розширювачів для буріння компенсаційних свердловин. У методиці розглянуто вплив осевого навантаження на індентор бурового інструменту. Приведені результати промислових випробувань доліт-розширювачів для буріння компенсаційних свердловин по породах V - XII категорії буримості. Приведена методика розрахунку очікуваного економічного річного ефекту від використання розроблених доліт-розширювачів.

Ключові слова: долото-розширювачі, категорія буримості, коефіцієнт використання шпурів, ударна хвиля.

Рассматриваются динамические процессы в буровом инструменте. Приведена методика проектирования буровых долот-расширителей для бурения компенсационных скважин. В методике рассмотрено влияние осевой нагрузки на индентор бурового инструмента. Приведены результаты промышленных испытаний долот-расширителей для бурения компенсационных скважин по породам V – XII категории буримости. Приведена методика расчета ожидаемого экономического годового эффекта от использования разработанных долот-расширителей.

Ключевые слова: долото-расширители, категория буримости, коэффициент использования шпура, ударная волна.

Examined dynamic processes in a boring instrument. The brought design technique over of borings chisels-dilators for the boring drilling of compensative mining holes. In methods рассмотрено influence of axleloading is on the indenter of boring instrument. The brought results over of industrial tests of chisels-dilators for the boring drilling of compensative mining holes on the breeds of V - XII of category of drillability. The brought methods over of calculation of expected economic effect of annual effect from the use of the worked out chisels-dilators.

The industrial testing results in determining the following:

- the mechanical drilling rate of the developed rimming bit KRSН-4-65 is 1.9 times higher than that of the rimming bit KRR-65; the wear is 1.75 times lower, the energy losses of the shock pulse are 2.3 times lower as compared with the commercial rimming bit KRR-65;
- the mechanical drilling rate of the developed rimming bit KRSН-12-90 is 1.3 times higher than that of the rimming bit MP-45; the wear is 1.2 times lower, the energy losses of the shock pulse are 1.9 times lower as compared with the commercial rimming bit MP-45;
- in 11 m² cross-section drifting with a drilling rig along the rocks of the X – XII drillability index it is advisable to apply one compensation Ø90 mm borehole drilled in one stage that ensures the increase of the borehole application coefficient from 0.92 to 1.0–1.025;
- in 11 m² cross-section drifting with hammer hand drills along the rocks of the X – XII drillability index it is advisable to apply two compensation Ø65mm boreholes drilled in two stages ensuring the increase of the borehole application coefficient from 0.91 to 0.92–0.94;
- in 5.7m² cross-section drifting with hammer hand drills along the rocks of the X – XII drillability index it is advisable to apply one compensation Ø65mm borehole drilled in two stages ensuring the increase of the borehole application coefficient from 0.9 to 0.93;
- in 5.7 m² cross-section drifting with hammer hand drills along the rocks of the V –IX drillability index it is advisable to apply one compensation Ø65mm borehole drilled in one stage ensuring the increase of the borehole application coefficient from 0.9 to 1.0;
- in 16 m² cross-section drifting with a self-propelled drifting drilling machine Boomer S1 D-DH along the rocks of the X –XII drillability index it is advisable to apply one compensative Ø90mm borehole drilled in two stages ensuring the increase of the borehole application coefficient from 0.92 to 0.95.

Keywords: rimming bit, category of drillability, coefficient of the use of шпурів, shock wave.

Введение. Наиболее распространенным и эффективным способом разрушения горных пород средней и высокой крепости являются буровзрывные работы [1-3].

Применение высокоэффективного бурового инструмента на горнорудных предприятиях является важным условием снижения себестоимости и повышения продуктивности добычи полезных ископаемых [1].

Одним из перспективных путей увеличения производительности буровзрывных работ является повышение технико-экономических показателей бурового инструмента.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является исследование динамических процессов в буровом инструменте и разработка *высокоэффективных долот-расширителей* для бурения компенса-

ционных скважин диаметром 65 – 90 мм.

Изложение материала и результаты. Совершенствование бурового инструмента для бурения компенсационных скважин требует решения следующих задач:

- 1) обеспечение наилучшей передачи энергии бойка от поршня-ударника к породоразрушающим элементам бурового долота-расширителя с минимальными потерями энергии;
- 2) обеспечение наилучшего преобразования энергии волны деформации, проходящей через буровую штангу, для разрушения горной породы за счет рациональной формы корпуса долота-расширителя;
- 3) обеспечение высокой работоспособности породоразрушающих элементов долота-расширителя.

Известна коронка-расширитель (рис.1) предназначена для расширения ранее пробуренных шпуров с

целью превращения их в компенсационные скважины.



Рисунок 1 – Общий вид коронки KPP-65

Однако к недостаткам данного инструмента для бурения компенсационных скважин следует отнести низкую эффективность передачи ударных импульсов от буровой штанги, по которой наносит удары поршень – ударник перфоратора. Ударные импульсы трансформируются в волну напряжения, которая пройдя буровую штангу через конусное сопряжение штанга-коронка, передается на корпус KPP-65 и далее на ее расширяющую часть. На этом участке происходят основные потери энергии ударных импульсов из-за формы корпуса долота-расширителя на ее расширяющую часть (рис. 2), так что на породоразрушающих лезвиях напряжение меньше 50 МПа, а также лезвийной формы ее породоразрушающих элементов и нерациональной треугольной формы пазов для выноса шлама. Такая форма пазов не только не обеспечивает необходимую очистку забоя от шлама, увеличивая износ всех элементов долота-расширителя, но и снижает передачу энергии ударов поршня перфоратора на лезвия коронки. Кроме того направляющий стержень вследствие того, что он не прижат к забою, а находится в уже пробуренном шпуре под действием ударных волн, проходящих через долото-расширитель, часто отсоединяется от него и остается в расширенной скважине. Это происходит потому, что волна напряжения, проходящая через корпус расширяющей части коронки, на несколько микрон увеличивает его в размере и, соответственно, увеличивает диаметр внутреннего конуса в нем. Поэтому натяг конусного сопряжения постепенно ослабляется и направляющий стержень отсоединяется от корпуса в среднем 1 раз после расширения 2-х шпуров. Для его извлечения непроизводительно тратится время, снижая эффективность процесса расширения шпуров.

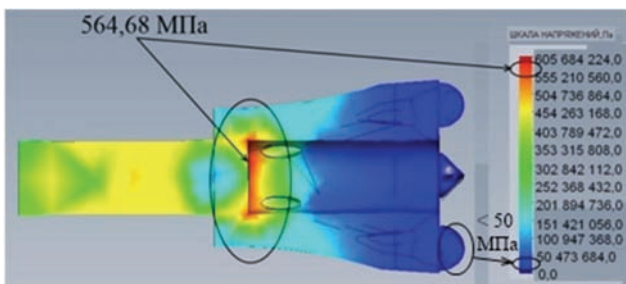


Рисунок 2 – Компьютерные исследования прохождения ударной волны через корпус расширителя KPP – 65

Для разработки рациональной конструкции бурового инструмента для формирования компенсационных скважин необходимо учитывать нагрузку на породоразрушающих элементах инструмента, которая может зависеть от геометрии бурового инструмента.

В первую очередь определяем необходимую, для разрушения породы, нагрузку на индентор долота-расширителя.

$$P_R = k_R + k_{1R} \times R + k_{2R} \times R^2 + k_{3R} \times R^3 + k_{4R} \times R^4 + k_{5R} \times R^5 + k_{6R} \times R^6, \quad (1)$$

где: $k_R = -244,09$; $k_{1R} = -7,2$; $k_{2R} = 0,0076$; $k_{3R} = 0,00019$; $k_{4R} = 2,37 \cdot 10^{-7}$; $k_{5R} = 2,38 \cdot 10^{-9}$; $k_{6R} = -2,047 \cdot 10^{-11}$ – безразмерные расчетные эмпирические коэффициенты; R – радиус корпуса долота-расширителя, мм.

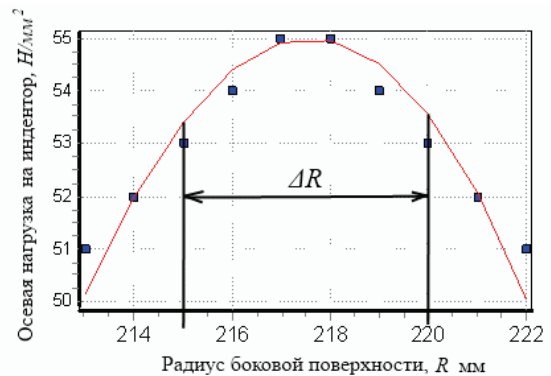


Рисунок 3 – Зависимость осевой нагрузки P_R на инденторах долота-расширителя от радиуса R боковой поверхности

Из рис. 3 видно, что оптимальная нагрузка на мм долота находится в пределах от 53 до 55 Н/мм² при радиусе корпуса долота-расширителя от 215 до 220 мм.

Вторым параметром, влияющим на нагрузку на инденторе, является длина L , мм, боковой поверхности расширяющей части долота-расширителя, которая определяется

$$P_L = k_L + k_{1L} \times L + k_{2L} \times L^2 + k_{3L} \times L^3 + k_{4L} \times L^4 + k_{5L} \times L^5 + k_{6L} \times L^6, \quad (2)$$

где: $k_D = 657,57$; $k_1 = -9,87$; $k_2 = -0,07$; $k_3 = 0,0008$; $k_4 = 9,35 \cdot 10^{-6}$; $k_5 = 1,47 \cdot 10^{-8}$; $k_6 = -7,82 \cdot 10^{-10}$ – безразмерные расчетные эмпирические коэффициенты; L – длина боковой поверхности расширяющей части долота-расширителя, мм.

Из рис. 4.2 видно, что оптимальная нагрузка на мм долота находится в пределах от 53 до 55 Н/мм² при длине корпуса долота-расширителя от 92 до 97 мм.

Следующим этапом является определение оптимальной длины направляющего устройства (центратора) l , мм, которая определяется эмпирической формулой

$$P_l = k_{ll} + k_{1ll} \times l + k_{2ll} \times l^2 + k_{3ll} \times l^3 - k_{4ll} \times l^4, \quad (3)$$

где: $k_{ll} = 11,9$; $k_{1ll} = 2,53$; $k_{2ll} = 0,01$; $k_{3ll} = 0,01$; $k_{4ll} = -0,001$ – безразмерные расчетные эмпирические коэффициенты; l – длина направляющего устройства, мм.

На рис. 5 показана зависимость рациональной длины направляющего устройства l при которой осевая нагрузка на инденторе составляет $P_{ll} \approx 55$ Н/мм².

Диаметр направляющего устройства определяется диаметром опережающего шпура.

$$D_{н.у.} = D_{шп}, \quad (4)$$

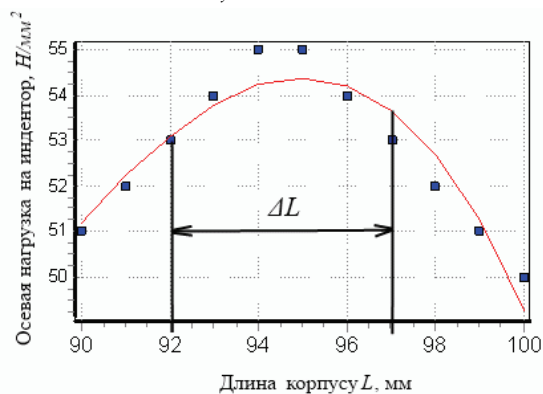


Рисунок 4 – Зависимость осевой нагрузки P_L на инденторах долота-расширителя от длины L боковой поверхности

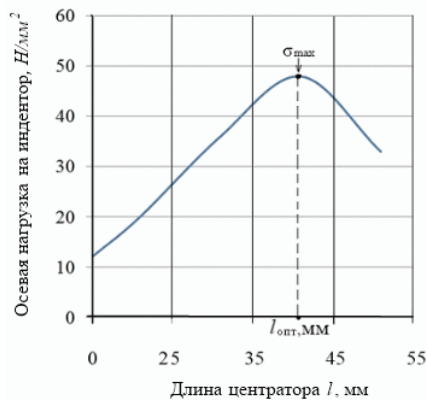


Рисунок 5 – Зависимость осевой нагрузки P_L на инденторах долота-расширителя от длины центратора l

В результате исследований были разработаны опытные образцы долот-расширителей (рис. 6).

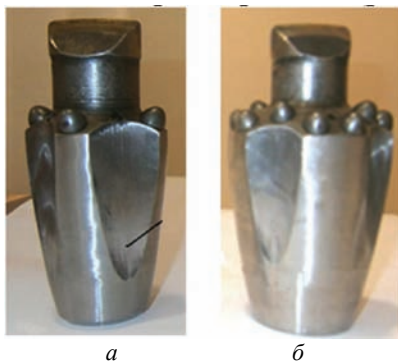


Рисунок 6 – Долота-расширители представлены на испытаниях для бурения компенсационных скважин: а – разработанное долото-расширитель КРШ-4 Ø 65; б – разработанное долото-расширитель КРШ-12 Ø 90

Опытные образцы разработанных долот-расширителей были изготовлены и испытаны в промышленных условиях шахты имени Ленина ПАТ «Криворожский железорудный комбинат» г. Кривой Рог. Результаты опытно-промышленных исследований долот-расширителей подтверждены актами испытаний. Результаты исследований приведены на рис. 7.

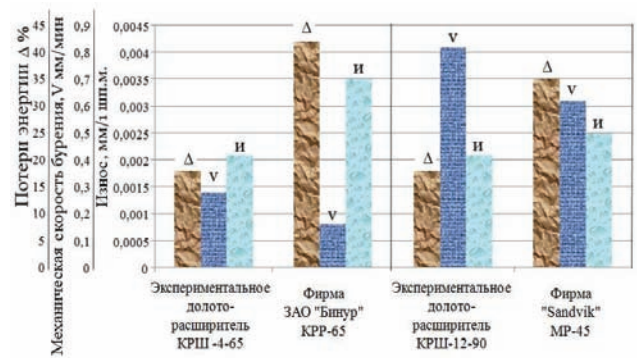


Рисунок 7 – Результаты опытно-промышленных исследований

В результате исследований установлено, что:

1. Механическая скорость бурения разработанного долота-расширителя КРШ-4-65 в 1,9 раз выше, чем у серийно выпускаемого долота-расширителя КРР-65;
2. Износ разработанного долота-расширителя КРШ-4-65 снижен в 1,75 раз по сравнению с серийно выпускаемым долотом-расширителем КРР-65;
3. Потери энергии ударного импульса разработанного долота-расширителя КРШ-4-65 уменьшены в 2,3 раза по сравнению с серийно выпускаемым долотом-расширителем КРР-65;
4. Механическая скорость бурения разработанного долота-расширителя КРШ-12-90 в 1,3 раз выше, чем у серийно выпускаемого долота-расширителя МР-45;
5. Износ разработанного долота-расширителя КРШ-12-90 снижен в 1,2 раза по сравнению с серийно выпускаемым долотом-расширителем МР-45;
6. Потери энергии ударного импульса разработанного долота-расширителя КРШ-12-90 уменьшены в 1,9 раза по сравнению с серийно выпускаемым долотом-расширителем КРР-65.

Для определения технико-экономических показателей разработанных долот-расширителей были проведены исследования на 6-ти участках. Исследования были направлены на оценку эффективности применения компенсационных скважин, а также разработку рационального паспорта буровзрывных работ.

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что использование компенсационных скважин и разработанных экспериментальных долот-расширителей позволило получить улучшенные технико-экономические показатели проходки по сравнению со стандартным вариантом. Коэффициент использования шпура (КИШ) увеличен с 0,9 до 1,0, а уходка забоя после взрыва с 1,85 м до 2,0 – 2,05 м. При этом количество шпуров в забое, подлежащих заряданию, по экспериментальному паспорту уменьшено по сравнению со стандартным вариантом.

Расчет ожидаемого годового экономического эффекта от внедрения разработанных буровых долот-расширителей выполнены согласно [5].

Экономический эффект определяется как разница затрат на материалы и заработную плату на 1 цикл проходки забоя до и после внедрения по формуле:

$$\mathcal{E}_u = (C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2) \text{ грн;}$$

где C_1, C_2 – текущие затраты на проходку одного метра штрека базовым методом и методом предлагаемым внедряемым мероприятием; E_n – коэффициент экономической эффективности; K_1, K_2 – удельные дополнительные капитальные затраты, грн; определяемый как

$K_1, K_2 = C_{кор} \times K_{кор}$; $C_{кор}$ – стоимость долота, грн; $K_{кор}$ – количество долот расходуемых при бурении одного забоя.

Таблица 1 – Результаты эффективности применения компенсационных скважин

№ Варианта	Коэффициент использования шпура (КВШ)						Уходка забоя, м					
	Уч. №1 (1 комп сверд. Ø 90 мм)	Уч. №2 (2 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №3 (1 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №4 (1 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №5 (1 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №1 (1 комп скваж. Ø 90 мм)	Уч. №1 (1 комп сверд. Ø 90 мм)	Уч. №2 (2 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №3 (1 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №4 (1 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №5 (1 комп сверд. Ø 65 мм)	Уч. №1 (1 комп скваж. Ø 90 мм)
Стандарт.	0,92	0,91	0,9	0,9	0,9	0,92	1,85	1,46	1,2	1,2	1,2	2,78
Вар. 1	0,89	0,89	0,92	0,92	0,91	0,91	1,96	1,44	1,48	1,48	1,47	2,74
Вар. 2	1,0	0,94	1	0,93	0,92	0,95	2,0	1,5	1,6	1,5	1,45	2,84
Вар. 3	0,86	0,92	0,93	0,91	0,93	0,93	1,9	1,47	1,5	1,45	1,5	2,8
Вар. 4	0,9	0,96	-	-	-	0,93	1,97	1,55	-	-	-	2,8
Вар. 5	1,025	-	-	-	-	-	2,05	-	-	-	-	-

Таблица 2 – Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанных буровых долот-расширителей

№ п/п	Показатель	Базовая технология					Внедряемая технология						
		Уч. №1 (1 комп скваж. Ø 90 мм)	Уч. №2 (2 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №3 (1 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №4 (1 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №5 (1 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №1 (1 комп скваж. Ø 90 мм)	Уч. №1 (1 комп скваж. Ø 90 мм)	Уч. №2 (2 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №3 (1 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №4 (1 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №5 (1 комп скваж. Ø 65 мм)	Уч. №1 (1 комп скваж. Ø 90 мм)
1	Текущие затраты на проходку одного метра штрека, грн./м	2085,13	2812,56	2539,79	1081,79	1220,35	192,46	1550,79	2541,78	2485,8	900,25	1016,39	140,98
2	Общие затраты на проходку одного метра штрека	3568,18	3736,78	3740,2	1265,7	1427,82	417,15	3258,6	3583,92	3460,34	1440,4	1512,4	364,5
3	Среднее количество метров проходки, м	208	377	377	735	628	585,6	208	377	377	735	628	585,6
4	Ожидаемый годовой экономический эффект, грн./год	120434,4	80465,34	160723,45	126354,76	123685,34	72176,87	137488,7	104628,8	172190,98	138393,15	131880	87919

В затраты на проходку 1 м горизонтальной подэтажной выработки предлагаемым методом статьи затрат (основных фондов) амортизация и содержание, эксплуатация и текущий ремонт не включаем, так как они в обоих случаях одинаковые.

Так как расчет затрат производим на 1 м проходки горизонтальной подэтажной выработки, рассчитаем текущие затраты на 1 м проходки с учетом КИШ.

Экономический эффект на 1 цикл проходки забоя до и после внедрения:

$$C_1 = \frac{Z_1}{L_1 \times \eta_1} \text{ грн/м – базовый метод;}$$

$$C_2 = \frac{Z_2}{L_2 \times \eta_2} \text{ грн/м – внедряемый метод,}$$

где Z_1, Z_2 – соответственно общие затраты на проходку одного метра штрека базовым методом и методом

предлагаемым внедряемым мероприятием; L_1, L_2 – глубина шпуров; η_1, η_2 – соответственно коэффициент использования шпура (КИШ) по базовому и внедряемому методам.

Расчет ожидаемого годового экономического эффекта от внедрения новой техники определяется по формуле:

$$\Delta_{г.кр.пор.} = [(C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2)] \times Q,$$

где Q – среднее количество метров проходки.

Результаты расчета ожидаемого годового экономического эффекта от внедрения разработанных буровых долот-расширителей выполнены согласно [5] и представлены в табл. 2.

Выводы

1. Разработаны высокоэффективные буровые долота-расширители для формирования компенсацион-

них скважин;

2. В результате опытно-промышленных исследований установлено:

– механическая скорость бурения разработанного долота-расширителя КРШ-4-65 в 1,9 раз выше по сравнению с долотом-расширителем КРР-65; износ снижен в 1,75 раз, а потери энергии ударного импульса уменьшены в 2,3 раза по сравнению с серийно выпускаемым долотом-расширителем КРР-65;

– механическая скорость бурения разработанного долота-расширителя КРШ-12-90 в 1,3 раз выше, по сравнению с долотом-расширителем МР-45; износ снижен в 1,2 раза, а потери энергии ударного импульса уменьшены в 1,9 раза по сравнению с серийно выпускаемым долотом-расширителем МР-45;

– при проходке горизонтальных выработок сечением 11 м² буровой кареткой по породам X – XII категории буримости целесообразно применять одну компенсационную скважину Ø90 мм бурением в одну стадию, при этом обеспечивается увеличение коэффициента использования шпура с 0,92 до 1,0–1,025;

– при проходке горизонтальных выработок сечением 11 м² ручными перфораторами по породам X – XII категории буримости целесообразно применять две компенсационные скважины Ø65 мм бурением в две стадии, при этом обеспечивается увеличение коэффициента использования шпура с 0,91 до 0,92–0,94;

– при проходке горизонтальных выработок сечением 5,7 м² ручными перфораторами по породам X – XII категории буримости целесообразно применять одну компенсационную скважину Ø65 мм бурением в две стадии, при этом обеспечивается увеличение коэффициента использования шпура с 0,9 до 0,93;

– при проходке горизонтальных выработок сечением 5,7 м² ручными перфораторами по породам V – IX категории буримости целесообразно применять одну компенсационную скважину Ø65 мм бурением в одну стадию, при этом обеспечивается увеличение коэффициента использования шпура с 0,9 до 1,0;

– при проходке горизонтальных выработок сечением 16 м² самоходной проходческой буровой установкой Boomer S1 D-DH по породам X – XII категории буримости целесообразно применять 1-ну компенсационную скважину Ø90 мм бурением в две ста-

дии, при этом обеспечивается увеличение коэффициента использования шпура с 0,92 до 0,95;

– в результате исследований оптимального расстояния между компенсационными скважинами и врубовыми шпурами установлено, что оптимальным вариантом является расстояние 250 мм;

– суммарный экономический эффект от внедрения результатов исследований г/год по диссертационной работе составляет 772500,6 грн./год.

Список литературы:

1. *Каварма И.И.* Новый штыревой породоразрушающий инструмент для бурения скважин на шахтах Кривбасса / *И.И.Каварма, А.А.Хруцкий* // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2002. – Вып. 78.

2. *Чувилін А.М.* Применение коронок – расширителей для бурения компенсационных скважин на проходческих работах / *А.М. Чувилін, Г.Т. Ермолов, Н.П. Соколов и др.* // Минцветмет СССР, ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии. Обзорная информация. – М.: 1988. – Выпуск 6. – 39 с.

3. *Рабинович М.И.* Введение в теорию колебаний и волн / *М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков.* – М.: Регулярная и хаотическая механика. – 2000. – 560 с.

4. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений, изобретений. – М.: Наука, 1977. – 285 с.

References (transliterated):

1. Kavarma Y.Y., Khrutskyy A.A. Noviy shtirevoy porodorazrushayushchyy instrument dlya burenyya skvazhyn na shakhtakh Kryvbassa. Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy. Kryvoy Roh. KTU. 2002. Vol. 78.

2. Chuvylyn A.M., Ermaov H.T., Sokolov N.P. i dr. Prynemene koronok – rasshyryteley dlya burenyya kompensatsionnykh skvazhyn na prokhodcheskykh rabotakh, Myntsvetmet SSSR. TsNYY ekonomyky y ynfarmatsyy tsvetnoy metallurhy. Obzornaya ynfarmatsyya. Moscow: 1988. Vol. 6. 39 p.

3. Rabynovych M.Y., Trubetskov D.Y. Vvedeniye v teoryyu kolebany y voln. Moscow: Rehulyarnaya y khaotycheskaya mekhanika, 2000. 560 p.

4. Metodyka (osnovnyye polozhenyya) opredelenyya ekonomycheskoy effektivnosti yspol'zovanyya v narodnom khozyaystve novoy tekhniky, ratspredlozhenyy, yzobretenyy. Moscow: Nauka. 1977. 285 p.

Поступила (received) 14.09.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Динамічні процеси в буровому долоті-розширювачі для буріння компенсаційних свердловин / Д. І. Кузьменко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 39 (1261). – С. 27-31. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2078-9130.

Динамические процессы в буровом долоте-расширителе для бурения компенсационных скважин / Д. И. Кузьменко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 39 (1261). – С. 27-31. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2078-9130.

Dynamic processes in rimming bit for drilling of compensative mining holes / D. I. Kuzmenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Dynamics and strength of machines. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. – № 39 (1261). – С. 27-31. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2078-9130.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кузьменко Дмитро Іванович – асистент, Кафедра гірничих машин і обладнання, ДВНЗ «Криворізький національний університет», тел.: (068) 644-97-23, e-mail: 99people98@Gmail.com.

Кузьменко Дмитрій Іванович – асистент, Кафедра горних машин і обладнання, ГВУЗ «Криворожський національний університет», тел.: (068) 644-97-23, e-mail: 99people98@Gmail.com.

Kuzmenko Dmytro Ivanovych – Assistant, Mining machines and equipment department, SIHE «Kryvyi Rih National University», tel.: (068) 644-97-23, e-mail: 99people98@Gmail.com.