

## Проектування сучасних технологічних систем і комплексів механічного оброблення матеріалів та складання вузлів

УДК 621.883

### **ВЫБОР КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ИНЕРЦИОННО-МЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕРНОГО РЯДА РЕДКОУДАРНЫХ ГАЙКОВЕРТОВ**

**Водолазская Н.В., Искрицкий В.М., Водолазская Е.Г**  
(ДонНТУ, ДГМА, г. Донецк, г. Краматорск, Украина)

#### **Введение**

Эффективными средствами механизации сборки крупных резьбовых соединений являются редкоударные гайковерты [1, 2, 3, 4], в которых энергия вращающегося маховика передается к соединенной с гайкой наковальне после достижения маховиком заданной угловой скорости. Такой характер управления ударом указанных гайковертов позволяет за счет увеличения времени разгона маховика снизить мощность приводного двигателя машины, что приводит к уменьшению массы и габаритов резьбозавертывающего инструмента. Высокая удельная энергоемкость достигается в редкоударных гайковертах с силовым инерционным зацеплением радиально перемещающихся в маховике бойков [5]. Опытные образцы таких гайковертов были разработаны и испытаны при сборке крепежных деталей с диаметром резьбы 36...72 мм прокатного и энергетического оборудования [6]. При их разработке рассчитывались требуемые параметры, определялись кинематические и инерционные характеристики соответствующих гайковертов для каждого диаметра резьбы.

Дальнейшие исследования процессов ударного нагружения резьбового соединения [7] обеспечили расчет необходимых энергетических параметров размерного ряда редкоударных гайковертов для затяжки крепежных деталей в диапазоне диаметров резьбы 30...160 мм. Этот размерный ряд [8] содержит 10 типоразмеров, необходимая энергия единичного удара которых изменяется в пределах 40...2500 Дж соответственно ряду Ra5.

В настоящее время при разработке и проектировании указанных типоразмеров гайковертов существует проблема правильного выбора кинематических и инерционных параметров основных деталей гайковертов.

С целью достижения заданных эксплуатационных характеристик редкоударных гайковертов должна быть рассмотрена методика перехода к установлению рациональных геометрических размеров маховика и наковальни, соотношения их моментов, скорости зацепления и расцепления маховика с наковальней, при которых обеспечивается максимальная передача энергии маховика к крепежной детали при их минимальных метрических и весовых характеристиках. В соответствии с поставленной целью был проведен выбор кинематических и инерционно-метрических параметров размерного ряда редкоударных гайковертов

#### **Основная часть**

Энергия единичного удара гайковерта, реализуемая в резьбовом соединении при каждом ударном цикле, зависит от величины послеударной кинетической энергии  $T_H$  наковальни с учетом потерь в зазорах между наковальней, ключом и гайкой:

$$\dot{A}_a = \dot{O}_f \cdot \hat{E}_z,$$

где  $K_Z$  – коэффициент потерь энергии в зазорах, зависящий от числа  $Z$  зазоров и рассчитываемый, согласно рекомендациям [9], по формуле:

$$K_Z = (1 - 0,1)^Z.$$

Для обеспечения эффективной передачи энергии от маховика к наковальне важно подобрать оптимальный режим соударения этих деталей, при котором достигается максимальное значение коэффициента передачи энергии

$$\eta = \frac{\dot{O}_i}{\dot{O}_i},$$

где энергия маховика перед ударом  $T_M = 0,5 \cdot I_M \cdot \omega_0^2$ , зависит от его момента инерции  $I_M$  и угловой скорости  $\omega_0$  перед ударом.

Проведенный ранее [10] анализ процесса соударения двухмассовой системы с зазорами позволил установить, что оптимальным с энергетической точки зрения является бесконечно ударный безостановочный режим соударения деталей гайковерта, который наступает при условии:

$$\mu < \frac{(1 - R)}{2R},$$

где  $\mu = \frac{I_H}{I_M}$  – инерционный параметр, равный соотношению моментов инерции наковальни и маховика;

$R$  – коэффициент восстановления скорости при ударе.

При этом режиме послеударные скорости маховика и наковальни после ряда повторных соударений выравниваются, и в результате «слипания» продолжают совместное движение с общей «послеударной» скоростью.

$$\omega_{i\phi} = \frac{\omega_0 [1 - R(1 + 2\mu)]}{(1 + \mu)(1 - R)}.$$

При этом на первом этапе ударного цикла (до момента «слипания») наковальне передается энергия

$$T_y = \frac{4 \cdot T_i \cdot R \cdot \mu \cdot [1 - R \cdot (1 + \mu)]}{(1 + \mu)(1 - R)^2},$$

а на втором этапе движения «слипшихся» масс до их остановки

$$T_{iy} = \frac{T_i \cdot [1 - R \cdot (1 + 2\mu)]}{(1 + \mu)(1 - R)^2}$$

при условии, что процесс движения системы не будет прерван до полной ее остановки, коэффициент передачи энергии при таком режиме соударения будет равным

$$\eta = \frac{\dot{O}_o + \dot{O}_{i0}}{\dot{O}_i} = \frac{1}{1 + \mu},$$

то есть принимает такое же значение, как при абсолютном неупругом ударе.

Конструкция редкоударного гайковерта (рис. 1) предусматривает расцепление бойков 1, маховика 2, с кулачками 3, наковальни 4 посредством возвратной пружины 5 еще до остановки маховика, поэтому совместное движение «слипшихся» масс может быть прервано еще вначале второго этапа. Поэтому необходимо инерционно-метрические параметры элементов гайковерта выбирать из тех условий, чтобы максимальная часть энергии маховика передавалась наковальне уже в первом этапе ударного цикла.

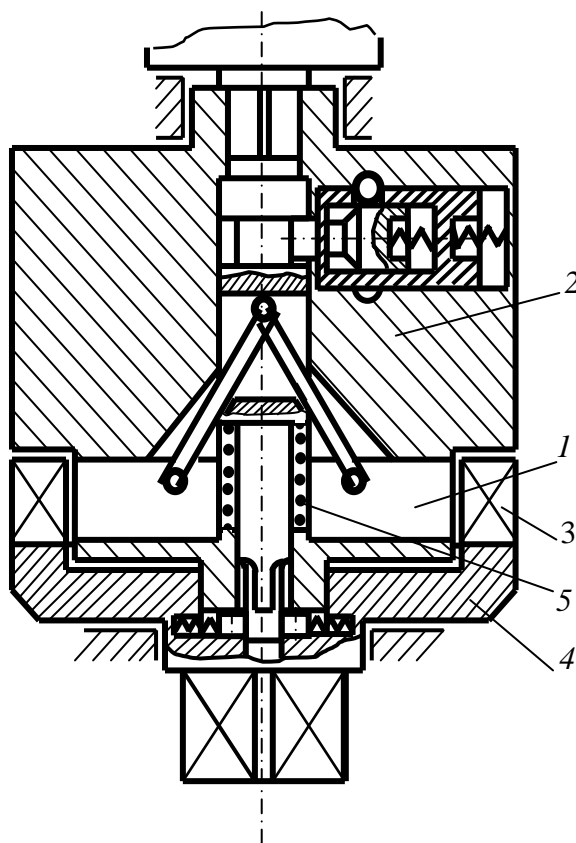


Рис.1. Принципиальная схема редкоударного гайковерта

На рисунке 2 графически представлены зависимости коэффициента передачи энергии маховика к наковальне от инерционного параметра при нескольких значениях коэффициентах восстановления скорости, соответствующих соударению стали о сталь, на первом этапе рассматриваемого режима соударения (сплошные линии) и на двух этапах (штриховая линия). Из представленных зависимостей видно, что при значениях инерционного параметра  $\mu=0,3...0,4$  наковальне передается максимальная часть энергии маховика.

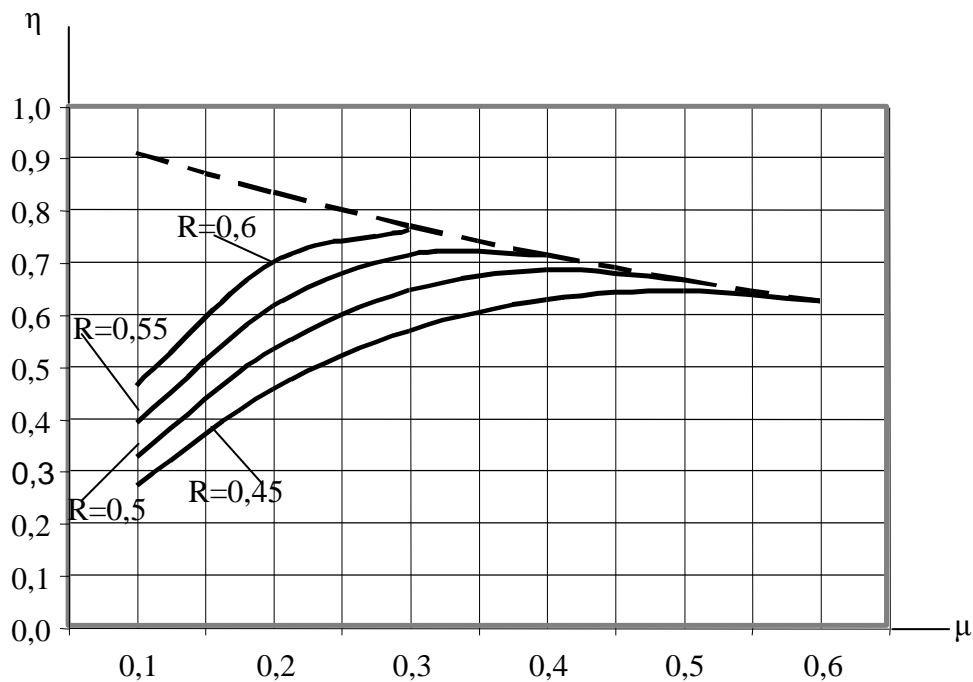


Рис.2. Зависимости коэффициента передачи энергии  $\eta$  от инерционного параметра  $\mu$

Для проектируемых образцов гайковертов разработанного параметрического ряда с учетом коэффициента восстановления скорости  $R = 0,55$  рационально выдерживать значения инерционного параметра  $\eta = 0,33 \dots 0,37$  и ограничивать передачу энергии наковальне первым этапом ударного цикла, осуществляя расцепления маховика с наковальней при конечной угловой скорости маховик:

$$\omega_e = \omega_{i0} = \frac{\omega_0 \cdot [1 - R \cdot (1 + 2\mu)]}{(1 + \mu)(1 - R)}.$$

При таких условиях, когда коэффициент передачи энергии

$$\eta_I = \frac{4 \cdot R\mu \cdot (1 - R - R\mu)}{(1 + \mu)(1 - R)^2},$$

наковальне в течение ударного цикла передается 72% энергии маховика, а параметры возвратной пружины обеспечивают расцепление маховика с наковальней при угловой скорости  $\varpi_k = 0,145\varpi_0$ . Тогда фактическая энергия единичного удара гайковерта определится зависимостью:

$$A^* = 0,5 \cdot I_M \cdot \varpi_0^2 \cdot \eta_I \cdot K_z$$

Получение указанных значений инерционного параметра в разрабатываемых гайковертах обеспечивалось правильным выбором метрики их элементов с учетом

обеспечения доступности к резьбовому соединению, достаточной прочности и уменьшения массы всей конструкции.

При этом моменты инерции маховика и наковальни определялись исходя из рекомендуемых соотношений их размеров к номинальному диаметру  $d$  резьбы представительного резьбового соединения для всех типоразмеров гайковертов. На рисунке 3 представлены эскизы этих элементов с обозначением их метрики.

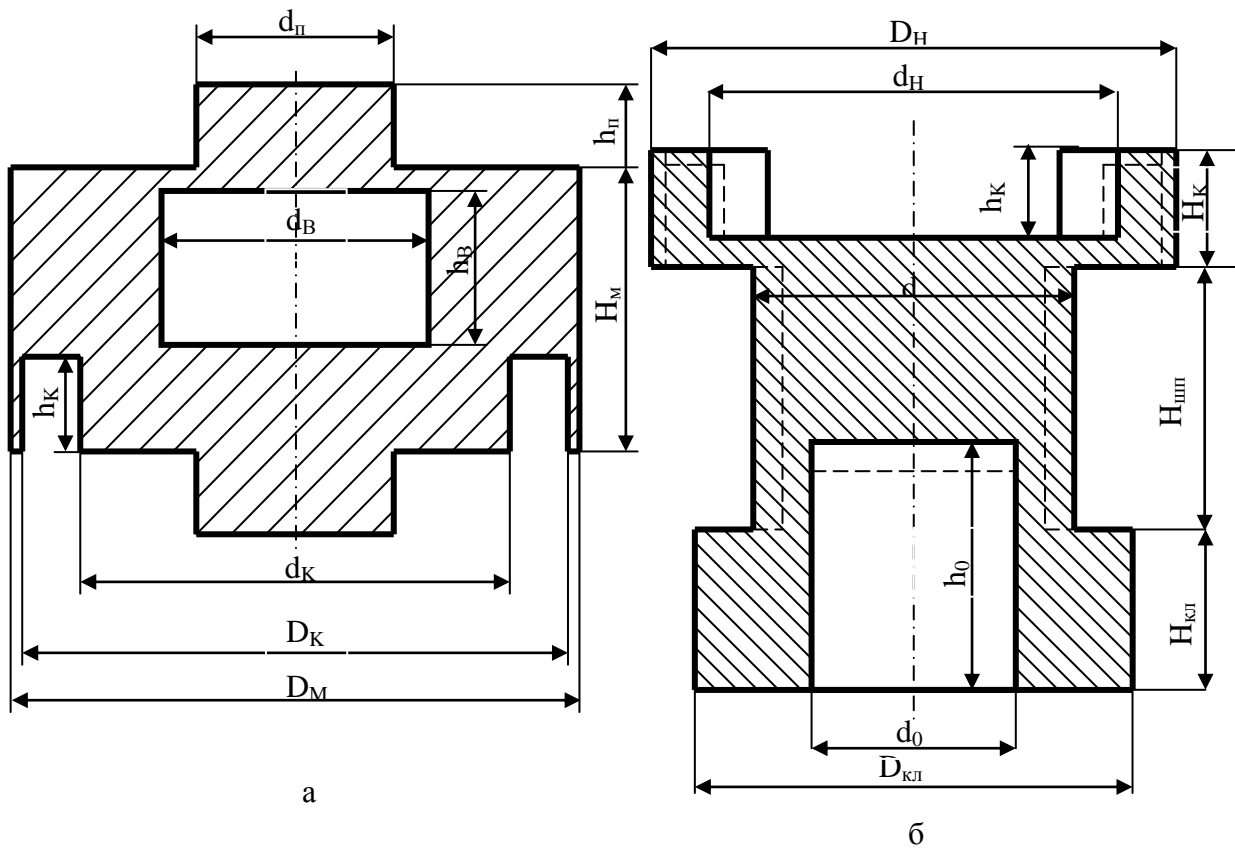


Рис.3. Варианты конструкций маховика (а) и наковальни (б)

В маховике (см. рис. 3, а), выполненном в виде полого цилиндра с двумя цапфами под подшипники и цилиндрической проточкой под кулачки наковальни, наружный диаметр  $D_M$  принимался равным  $(2,5 \dots 2,6)d$ . Внутренние радиальные размеры и высота маховика из условий размещения в нем бойков и центробежного регулятора назначались в соотношениях:

$$D_K = 2,3d; d_K = 1,5d; d_n = 0,75d; d_B = 1,25d; H_M = 1,8d; h_n = 0,3d; h_K = 0,45d; h_B = 0,75d.$$

Размеры наковальни с присоединенными к ней ключом с гайкой (см. рис. 3, б) в разрабатываемых гайковертах назначались из условий обеспечения доступности, достаточной прочности и необходимости ее инертности в таких пределах:

$$D_H = (2,2 \dots 2,3)d; d_H = (1,6 \dots 1,7)d; H_K = 0,7d; h_K = 0,5d; \\ D_{un} = 1,25d; D_{кл} = 2d; d_0 = d; H_{un} = 1,25d; H_{кл} = 0,9d; h_0 = 1,3d.$$

Все параметры деталей гайковертов, определенные по приведенным соотношениям, округлялись до ближайших нормализованных размеров.

При такой метрике элементов их моменты инерции определяются зависимостями:

$$I_{\hat{i}} = \frac{\pi \cdot \rho}{32} \cdot \left[ D_{\hat{i}}^4 \cdot \dot{I}_{\hat{i}} + 2 \cdot d_{\hat{i}}^4 \cdot h_{\hat{i}} - d_{\hat{A}}^4 h_{\hat{A}} - (D_{\hat{E}}^4 - d_{\hat{E}}^4) \cdot h_{\hat{E}} \right]$$

$$I_{\hat{j}} = \frac{\pi \cdot \rho}{32} \cdot \left[ \frac{1}{6} \cdot (D_{\hat{I}}^4 - d_{\hat{I}}^4) \cdot h_{\hat{E}} + D_{\hat{I}}^4 \cdot (\dot{I}_{\hat{E}} - h_{\hat{E}}) + D_{\hat{\phi i}}^4 \cdot \dot{I}_{\hat{\phi i}} + D_{\hat{e \ddot{e}}}^4 \cdot \dot{I}_{\hat{e \ddot{e}}} - d_0^4 \cdot h_0 \right] \cdot \dots,$$

где  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  – плотность стали.

Расчеты показывают, что при таких соотношениях размеров маховика и наковальни инерционный параметр принимает значение  $\mu = 0,34$ , что обеспечивает бесконечно ударный безостановочный режим соударения этих деталей.

В проектируемых образцах гайковертов разработанного параметрического ряда передача энергии от маховика к наковальне ограничивается первым этапом ударного цикла, когда расцепление бойков с кулачками наковальни осуществляется при конечной угловой скорости маховика:

$$\omega_{\hat{e}} = \omega_{\hat{i} \acute{o}} = \frac{\omega_0 \cdot [1 - R \cdot (1 + 2\mu)]}{(1 + \mu)(1 - R)}.$$

При этом коэффициенте передачи энергии составил

$$\eta_{\text{I}} = \frac{4 \cdot R \mu \cdot (1 - R - R\mu)}{(1 + \mu)(1 - R)^2},$$

а фиктивная энергия единичного удара

$$\dot{A}_a^* = 0,5 \cdot I_{\hat{i}} \cdot \omega_0^2 \cdot \eta_{\text{I}} \cdot k_z.$$

Соответствие эффективной энергии  $A^*$  единичного удара расчетной энергии  $A_e$  гайковерта каждого типоразмера параметрического ряда достигалось угловой скоростью соударения, определяемой зависимостью:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \dot{A}_a^*}{I_{\hat{i}} \cdot \eta_{\text{I}} \cdot \hat{E}_z}}.$$

Эта угловая скорость проверялась по условиям прочности

$$\omega_0 \leq \frac{2 \cdot [V]}{D_{\hat{i}}},$$

где  $[V] = 10 \text{ м/с}$  – допустимая для легированных сталей скорость соударения.

В таблице 1 представлены конструктивные, инерционные, кинематические и энергетические параметры разрабатываемых образцов параметрического ряда редкоударных гайковертов, выбранные с учетом приведенных рекомендаций.

Таблица 1. Параметры разрабатываемых редкоударных гайковертов

Диаметр представительного резьбового соединения $d \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Требуемая энергия единичного удара $A_e, \text{Дж}$	Диаметр маховика $D_M, \text{м}$	Диаметр наковальни $D_N, \text{м}$	Момент инерции маховика $I_M, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	Момент инерции наковальни $I_N, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	Угловая скорость соударения $\omega_0, \text{рад/с}$	Масса маховика, $M_M, \text{кг}$	Масса наковальни, $M_N, \text{кг}$	Эффективная расчетная энергия единичного удара $A_{e2}, \text{Дж}$
36	40	0,009	0,080	0,00299	0,00105	240	2,46	1,55	41
42	63	0,105	0,100	0,00647	0,00228	200	3,91	2,46	66
48	100	0,125	0,110	0,01306	0,00445	165	5,83	3,67	102
56	160	0,140	0,125	0,02823	0,00961	150	9,26	5,82	168
64	250	0,160	0,145	0,05503	0,01874	135	13,82	8,69	263
76	400	0,200	0,170	0,12995	0,04426	110	23,15	14,54	406
90	630	0,240	0,200	0,30264	0,10307	95	38,45	24,15	690
110	1000	0,280	0,240	0,82543	0,28111	80	70,20	44,10	1316
125	1600	0,315	0,275	1,4866	0,52418	70	103,01	64,71	1780
140	2500	0,360	0,310	2,6626	0,9388	65	144,72	90,91	2717

Приведенные в таблице 1 данные использованы при разработке конструктивных характеристик нескольких типоразмеров параметрического ряда редкоударных гайковертов с энергией единичного удара от 63 Дж до 630 Дж. Опытные образцы таких гайковертов с энергией единичного удара от 100 Дж до 400 Дж представлены на рисунке 4.



Рис. 4. Опытные образцы редкоударных гайковертов

Для типоразмеров гайковертов параметрического ряда с энергией единичного удара более 630 Дж предусматривается составная конструкция, состоящая из 2-х частей: маховика с приводом, расположенных в отдельном корпусе, и наковальни с ключом. При эксплуатации такой конструкции перестановку каждой из частей можно осуществлять отдельно, что облегчает труд оператора.

Полученные результаты дают возможность устанавливать метрические и инерционно-кинематические параметры элементов редкоударных гайковертов при разработке последующих типоразмеров.

### **Выводы**

1. В редкоударных гайковертах максимальный коэффициент передачи энергии от маховика к наковальне достигается при бесконечно ударном безостановочном режиме, когда в результате повторных соударений в пределах одного ударного цикла происходит “слипание” соударяющихся элементов, после чего их движение осуществляется с одинаковой угловой скоростью до их полной остановки.
2. Конструктивные особенности редкоударных гайковертов предусматривают расцепление маховика с наковальней до полной остановки маховика, что снижает коэффициент передачи энергии.
3. В результате проведенного подбора кинематических и инерционно - метрических параметров маховика и наковальни было достигнуто обеспечение передачи максимальной части энергии маховика к наковальне уже на первом этапе (еще до наступления “слипания”) ударного цикла в бесконечно ударном безостановочном режиме соударения.

**Список литературы:** 1. Искрицкий В.М., Сибогатов В.М., Водолазская Е.Г. Механизированный инструмент для сборки ответственных крупных резьбовых соединений// Автоматизация сборки в машиностроении. Пловдив, 1985. – С. 201-213. 2. Искрицкий В.М., Бузунов В.Н. Гайковерты для крупных резьбовых соединений. //Технология и организация производства. Киев, 1980, №2. – С. 14-16. 3. Пат. 44544А України, В25В 21/02. Гайковерт. /Н.В. Водолазська, В.М. Искрицький, О.Г. Водолазська (Україна) // Бюл. – 2002. – № 2, кн.1. – С. 480. 4. Водолазская Н.В., Искрицкий В.М. Динамика ударного механизма редкоударного гайковерта с осевым перемещением бойка/ Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 110. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 109-116. 5. Искрицкий В.М., Водолазская Н.В., Водолазская Е.Г. Динамика процесса соударения в механизмах для сборки резьбовых соединений. //International scientific conference UNITECH'04. Proceedings. Volume 1. Gabrovo, Bulgaria, 18-19 November 2004. – P.II-244 – II-249. 6. Искрицкий В.М., Водолазская Е.Г., Водолазская Н.В. Сборка резьбовых соединений металлургического оборудования // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении. – Вып. 4, 1998. – С. 391-392. 7. Водолазская Е.Г., Искрицкий В.М., Водолазская Н.В. Энергетический анализ процесса ударной затяжки резьбовых соединений редкоударными гайковертами // Research and development in chemical and mechanical industry. RaDMI 2002. Proceeding Volume: Vrnjacka Banja, Yugoslavia. 01-04 September 2002, – P.464 – 469. 8. Искрицкий В.М., Водолазская Н.В., Водолазская Е.Г. Расчет параметров размерного ряда блоков технологического воздействия для сборки резьбовых соединений. //International scientific conference UNITECH'03. Proceedings. Volume 1. Gabrovo, Bulgaria, 20-21 November 2003. –



Р.1-522-1-524. **9.** Гельфанд М.Л., Ципенюк Я.И., Кузнецов О.К. Сборка резьбовых соединений. – М.: Машиностроение, 1978. – 109 с. **10.** Водолазская Е.Г., Искрицкий В.М., Водолазская Н.В. Выбор энергетических параметров блоков технологического воздействия для сборки резьбовых соединений // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск – Киев: ДГМА, выпуск 15, 2004. – С. 174-180.

#### ВИБІР КІНЕМАТИЧНИХ І ІНЕРЦІЙНО-МЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗМІРНОГО РЯДУ РІДКОУДАРНИХ ГАЙКОВЕРТІВ

Водолазська Н.В., Искрицкий В.М., Водолазська О.Г.

У статті розглянуті питання складання різьбових з'єднань за допомогою рідкоударних гайковертів. Пропонується вирішення проблеми забезпечення передачі максимальної частини енергії маховика до ковадла за рахунок вибору раціональних кінематичних і інерційно-метричних параметрів основних елементів розмірного ряду рідкоударних гайковертів.

#### ВЫБОР КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ИНЕРЦИОННО-МЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕРНОГО РЯДА РЕДКОУДАРНЫХ ГАЙКОВЕРТОВ

Водолазская Н.В., Искрицкий В.М., Водолазская Е.Г.

В статье рассмотрены вопросы сборки резьбовых соединений с помощью редкоударных гайковертов. Предлагается решение проблемы обеспечения передачи максимальной части энергии маховика к наковальне за счет выбора рациональных кинематических и инерционно-метрических параметров основных элементов размерного ряда редкоударных гайковертов.

#### CHOICE OF KINEMATICS AND INERTIA-METRICAL PARAMETERS OF SIZE ROW OF RARELY PERCUSSIVE BOX WRENCHES

Vodolazskaya N.V., Iskritski V.M., Vodolazskaya E.G.

In the paper the questions of threaded connections assembling are considered by rarely percussive box wrenches. The solution of problem providing of passing to maximal part of energy of handwheel to anvil due to the choice rational kinematics and inertia-metrical parameters of basic elements of size row of rarely percussive box wrenches is offered.

*Рецензент: д.т.н., проф. Шевченко Ф.Л.*