

УДК 62-531.7

**ВЛИЯНИЕ СООБЩАЕМОГО ЗАГОТОВКЕ
ДВУХМЕРНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА СИЛОВЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ЕЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РАСПИЛОВОЧНЫМ ДИСКОМ**

Докт. техн. наук, проф. КИСЕЛЕВ М. Г., канд. техн. наук, доц. ДРОЗДОВ А. В., асп. ЯМНАЯ Д. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: darya_echo@mail.ru

INFLUENCE OF 2D VIBRATORY MOTION CONVEYED TO BILLET
ON FORCE AND TIMING PARAMETERS
OF ITS CONTACT INTERACTION WITH SAWING DISC

KISELEV M. G., DROZDOV A. V., YAMNAYA D. A.

Belarusian National Technical University

Посвящена экспериментальному исследованию влияния сообщаемого заготовке двухмерного колебательного движения на силовые и временные параметры ее контактного взаимодействия с распиловочным диском. Приведено описание модернизированной распиловочной секции, обеспечивающей сообщение заготовке двухмерного колебательного движения, а также методики и аппаратных средств, примененных для измерения нормальной составляющей силы ее соударения с диском и продолжительности их контактирования за период циркуляционного движения заготовки. Представлены, проанализированы и обобщены экспериментально полученные зависимости, отражающие влияние величины зазора между стрелой и верхним ограничителем на указанные силовые и временные параметры контактного взаимодействия заготовки с распиловочным диском.

Ключевые слова: сверхтвердые материалы, распиливание, циркуляционное движение, временные параметры, силовые параметры.

Ил. 5. Библиогр.: 5 назв.

The paper presents an experimental investigation on influence of 2D vibratory dimension conveyed to a billet on force and timing parameters of its contact interaction with a sawing disc. Description of the modernized sawing section ensuring conveyance of 2D vibratory motion to a billet, methodology and hardware facilities applied for normal force measurement of its impact with the disc and longevity of their contact for the period of the billet circulation motion. The paper provides, analyzes and generalizes experimentally obtained dependences reflecting influence of gap clearance between a boom and an upper stop on the mentioned force and timing parameters of the billet contact interaction with the sawing disc.

Keywords: superhard materials, sawing, circulation motion, timing parameters, force parameters.

Fig. 5. Ref.: 5 titles.

Введение. В производстве изделий электронного, оптического и оптико-электронного приборостроения, лазерной техники, а также в алмазообработке широко применяется операция механического распиливания твердых и сверхтвердых кристаллов. Наибольшей сложностью и трудоемкостью выполнения характеризуется операция механического распиливания монокри-

сталлов алмаза при производстве из них бриллиантов и других изделий. Объясняется это уникальной твердостью алмаза, а также высоким уровнем требований по минимизации безвозвратных потерь дорогостоящего сырья. В частности, это обеспечение минимальной толщины распила и высокое качество поверхности площадок распиленных полуфабрикатов [1].

По сравнению с лазерным разделением монокристаллов алмаза, их механическое распиливание обеспечивает более высокий процент выхода годного сырья, особенно при обработке крупных кристаллов, благодаря чему наибольшее применение по-прежнему находит метод механического распиливания. Вместе с тем, ему присущи недостатки, связанные с низкой производительностью процесса и невысоким качеством поверхности площадок распиленных полуфабрикатов, снижающим процент выхода годного сырья.

Как установлено результатами предыдущих исследований [2, 3], в значительной степени указанные недостатки можно устранить за счет сообщения заготовке в процессе обработки двухмерного периодического циркуляционного движения, совершаемого в плоскости распиливания. При этом показано, что рациональным, с точки зрения управления параметрами этого движения, является перемещение заготовки по замкнутой траектории, имеющей форму, близкую к эллипсу. В этом случае взаимодействие заготовки с торцевой поверхностью распиловочного диска протекает в условиях периодического ударно-фрикционного взаимодействия, в результате чего интенсифицируется процесс разрушения материала заготовки.

Очевидно, при прочих равных условиях, степень влияния двухмерного движения заготовки на процесс распиливания будет определяться параметрами ее эллиптического движения. Изменение параметров влечет за собой изменение условий ударно-фрикционного взаимодействия заготовки с торцевой (режущей) поверхностью распиловочного диска, в частности продолжительности их контактного взаимодействия, значения нормальной составляющей силы удара при косом соударении, периода циркуляционного движения заготовки и их соотношения. Следовательно, для установления закономерностей протекания процесса распиливания твердых и сверхтвердых кристаллов предложенным способом и их математического описания необходимо располагать данными, отражающими влияние параметров эллиптического движения заготовки на силовые, временные и частотные характеристики ее контактного взаимодействия с торцевой поверхностью распиловочного диска. В этой связи цель про-

водимой исследовательской работы заключалась в экспериментальном получении таких данных.

Методика проведения исследований. Эксперименты выполняли на модернизированной распиловочной секции станка модели ШП-2, предназначенной для механического распиливания кристаллов алмаза. Принципиальная схема секции представлена на рис. 1.

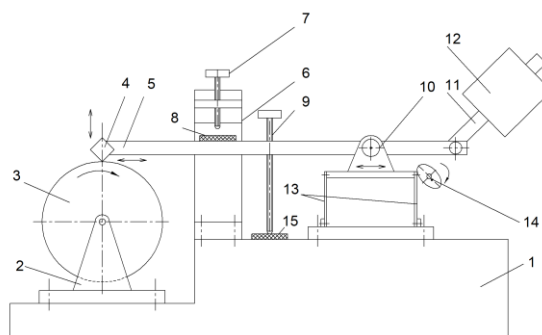


Рис. 1. Схема модернизированной распиловочной секции, обеспечивающей двухмерное колебательное движение заготовки

Она состоит из массивной чугунной плиты 1, на которой закреплены две пары стоек 2 и 10. В паре стоек 2 устанавливается шпиндель с закрепленным на нем распиловочным диском 3. Вращение ему сообщается от асинхронного электродвигателя посредством плоскоременной передачи (на рисунке не показана). В паре стоек 10 смонтирован узел опоры качания рычага 5 (стрела), обеспечивающий качание рычага с минимальным трением. На одном (рабочем) конце стрелы закрепляется обрабатываемая заготовка 4 (кристалл алмаза), а на другом смонтирован узел противовеса, состоящий из поворотного рычага 11, на котором установлен груз 12. Статическое усилие прижатия заготовки к торцевой поверхности распиловочного диска обеспечивается путем придания стреле неуравновешенного состояния за счет соответствующего изменения углового положения поворотного рычага с грузом, т. е. используется принцип гравитационной передачи. В рабочем положении стрела поддерживается с помощью расположенного на ней регулировочного винта 9, который опирается на упругую резиновую прокладку (опору) 15, благодаря чему достигается плавное изменение усилия прижатия заготовки к торцевой поверхности

распиловочного диска. По мере увеличения глубины пропила винт периодически выворачивается, чем обеспечивается врезная подача в процессе распиливания.

Принципиальное отличие данного варианта конструкции распиловочной секции от промышленного состоит в двух изменениях. Во-первых, узел качания стрелы (пара стоек 10) установлен на плоских пружинах 13, образующих параллелограммный подвес, допускающий перемещение оси качания стрелы вдоль горизонтальной оси. Для сообщения этому узлу вынужденных колебаний применен электромеханический вибратор, включающий электродвигатель постоянного тока (на рисунке не показан). На валу вибратора закреплен эксцентрик 14, рабочая поверхность которого контактирует с подвижной частью плоскопараллельного подвеса.

Во-вторых в модернизированной конструкции распиловочной секции применена дополнительная опора, выполненная в виде Г-образного кронштейна 6, имеющего регулировочный винт 7, ограничивающий величину перемещения стрелы в вертикальном направлении. В месте контактирования винта со стрелой на ее поверхности приклеена упругая резиновая прокладка 8. Наличие такого узла позволяет обеспечить режим двустороннего виброударного взаимодействия стрелы с упругим верхним 8 и нижним 15 ограничителями. При этом за счет изменения зазора между регулировочным винтом 7 и верхним ограничителем 8 становится возможным управлять параметрами двустороннего виброударного взаимодействия стрелы с упругими ограничителями, в частности положением эллиптической траектории движения заготовки относительно горизонтальной оси и ее геометрическими параметрами [4].

Для измерения нормальной составляющей силы соударения заготовки с диском за время их контактного взаимодействия использовали следующую методику. На месте шпиндельного узла диска в специальном приспособлении 1 (рис. 2) закрепляли предварительно протарированную тензометрическую балку 2.

На рабочем конце стрелы устанавливали оправку 3, имеющую узкую выступающую часть 4, которой она при двухмерном колебательном движении периодически воздействовала на поверхность тензометрической балки, вы-

зывая ее деформацию. Сигнал от тензодатчиков, пропорциональный изменению нормальной составляющей силы удара P_d , поступал на усилитель и далее подавался на цифровой запоминающий осциллограф CWINTEK GDS-71152A. По полученным осциллограммам и с учетом тарировочных данных тензобалки определяли характер изменения и величину нормальной составляющей силы соударения заготовки с диском за время их однократного взаимодействия, а также ее максимальное (амплитудное) значение $P_{d\max}$.

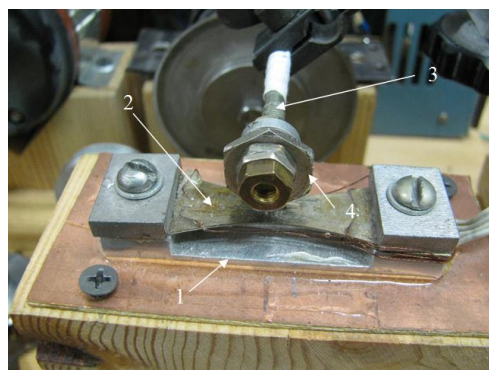


Рис. 2. Общий вид устройства для измерения нормальной составляющей силы соударения оправки (заготовки) с тензометрической балкой (диском)

Методика определения временных параметров исследуемого процесса заключалась в следующем [5]. На рабочем конце стрелы на месте заготовки закрепляли стальную (токопроводящую) цилиндрическую оправку. Последняя, совершая двухмерное колебательное движение в плоскости распиливания, периодически контактировала со стальным отрезным диском, который электрически изолировался от стрелы с закрепленной на ней оправкой. Для фиксации наличия и продолжительности контактного взаимодействия диска с оправкой они были включены в электрическую цепь, состоящую из источника питания постоянного тока и цифрового запоминающего осциллографа GWINTEK GDS-71152A, с помощью которого определяли продолжительность их контактного взаимодействия t_k и период циркуляционного движения оправки T .

Результаты экспериментальных исследований и их анализ. Зависимость амплитудного значения нормальной составляющей силы соударения заготовки с торцевой поверхностью

диска ($P_{\text{дmax}}$) от величины зазора (Z) между стрелой и верхним упругим ограничителем представлена на рис. 3.

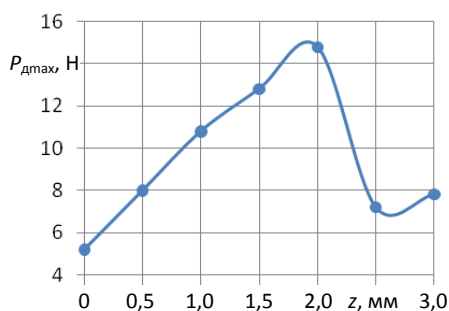


Рис. 3. Зависимость амплитудного значения нормальной составляющей силы соударения заготовки с диском от величины зазора

Она получена при сообщении плоскопараллелограммному подвесу вынужденных синусоидальных колебаний частотой 5,1 Гц с амплитудой 3,0 мм и при статическом усилии прижатия заготовки к поверхности диска $P_{\text{ст}} = 1,2$ Н. Из анализа данной зависимости видно, что она имеет два четко выраженных участка. Так, по мере увеличения зазора, начиная с его нулевого значения, величина $P_{\text{дmax}}$ практически линейно возрастает, достигая своего максимального значения при $Z = 1,8-2,0$ мм, а дальнейшее увеличение зазора сопровождается резким снижением величины $P_{\text{дmax}}$. Здесь следует подчеркнуть, что в условиях проводимых экспериментов максимальная величина зазора Z не превышала 3,0 мм, которую можно рассматривать как критическую. Дело в том, что с ее превышением режим двустороннего виброударного взаимодействия стрелы с ограничителями сменяется режимом ее однократного соударения только с нижним ограничителем. Причем во времени это взаимодействие протекает крайне нестабильно и характеризуется периодами «зависания» стрелы между ограничителями, а поэтому такой режим не может рассматриваться как рабочий.

Важно отметить то обстоятельство, что даже при нулевом зазоре между стрелой и верхним ограничителем взаимодействие заготовки с диском протекает в режиме их периодического ударного контактирования с продолжительностью контакта $t_{\text{к}} = 0,048$ с и при $P_{\text{дmax}} = 5,0$ Н. Объясняется это тем, что при $Z = 0$ также имеет место колебательное движение рабочего конца

стрелы в вертикальном направлении, величина которого определяется значением упругих контактных деформаций ограничителей, взаимодействующих с регулировочными винтами стрелы в безотрывном режиме в пределах этих деформаций. В результате заготовка, расположенная относительно оси качания стрелы на значительно большем расстоянии, чем ограничители, совершает колебательные движения в вертикальном направлении, амплитуда которых существенно превышает величину упругих контактных деформаций ограничителей. Благодаря этому обеспечивается виброударный режим взаимодействия заготовки с торцевой поверхностью диска. Очевидно, безотрывный режим их взаимодействия будет иметь место в случае, когда стрелу относительно упругих ограничителей установят с натягом, величина которого будет равна или превысит суммарное значение их деформаций.

Обращает на себя внимание зависимость частоты циркуляционного движения заготовки от величины зазора Z , представленная на рис. 4.

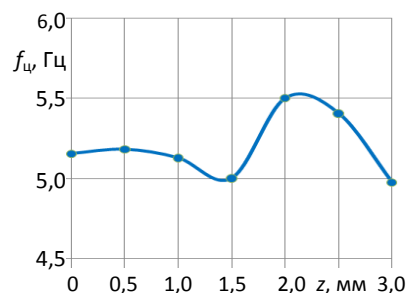


Рис. 4. Зависимость частоты циркуляционного движения заготовки от величины зазора

Как видно из графика, с изменением Z от 0 до 1,5 мм значение $f_{\text{ц}}$ остается практически неизменным и составляет порядка 5,1 Гц, т. е. совпадает с частотой вынужденных колебаний. При зазоре, равном 1,8–2,0 мм, наблюдается повышение частоты периодического циркуляционного движения заготовки до $f_{\text{ц}} = 5,5$ Гц, а при дальнейшем увеличении зазора ($Z = 3,0$ мм) оно опять снижается до 5,0 Гц. Такой ход зависимости $f_{\text{ц}}(Z)$ свидетельствует о наличии наиболее интенсивного (подобно резонансному) режима двустороннего виброударного взаимодействия стрелы с упругими ограничителями, которому соответствует величина зазора $Z = 1,8-2,2$ мм. В этом случае, как видно из зависимости $P_{\text{дmax}}(Z)$ (рис. 3), имеет место наибольшее значение нормальной состав-

ляющей силы соударения заготовки с диском ($P_{\text{дmax}} = 14,8 \text{ Н}$), которое более чем в 12 раз превышает величину $P_{\text{ст}}$.

Значение зазора также оказывает влияние на продолжительность контактного взаимодействия заготовки с торцевой поверхностью диска. Наибольшая величина времени контакта $t_k = 0,048 \text{ с}$ имеет место при $Z = 0$, а с увеличением зазора до 1,0–1,5 мм происходит резкое снижение t_k до 0,007 с. При дальнейшем увеличении зазора, вплоть до его критического значения ($Z = 3,0 \text{ мм}$), величина t_k остается постоянной и составляет 0,008 с.

Для научного трактования установленных зависимостей воспользуемся результатами методики [5], посвященной исследованию влияния зазора между стрелой и верхним ограничителем на траекторию двумерного периодического циркуляционного движения заготовки. Эллиптическая траектория этого движения, соответствующая критическому значению зазора, показана на рис. 5а.

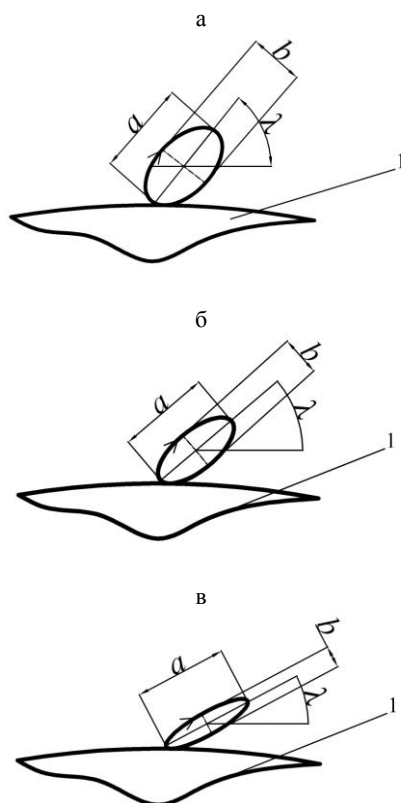


Рис. 5. Расположение эллиптической траектории движения заготовки относительно торцевой поверхности диска 1 и ее геометрические параметры при различных значениях величины зазора ($Z_1 > Z_2 > Z_3$): а – Z_1 ; б – Z_2 ; в – Z_3

Ее положение относительно торцевой поверхности диска определяется значением угла λ между большой осью эллипса и горизонтальной осью, а параметрами траектории являются большая a и малая b оси эллипса. По мере уменьшения зазора (рис. 5б, в) величина угла λ снижается и одновременно уменьшается размер малой оси эллипса b , т. е. он как бы поворачивается своей большой осью к горизонтальной оси и сплющивается. Понятно, что чем больше угол λ , тем выше будет значение нормальной составляющей силы соударения заготовки с торцевой поверхностью диска. Поэтому по мере увеличения зазора от 0 до 2 мм возрастает угол λ , а соответственно и величина нормальной составляющей силы $P_{\text{дmax}}$. А при $Z = 1,8\text{--}2,0 \text{ мм}$, когда дополнительно устанавливается наиболее интенсивный режим двустороннего виброударного взаимодействия стрелы с ограничителями, она имеет наибольшее значение.

При больших значениях зазора, несмотря на увеличение угла λ , величина $P_{\text{дmax}}$ снижается, что объясняется падением интенсивности виброударного взаимодействия стрелы с ограничителями. Он характеризуется снижением частоты периодического циркуляционного движения заготовки и падением интенсивности ударного взаимодействия стрелы с верхним ограничителем. В результате совместного проявления этих факторов значение нормальной составляющей силы соударения заготовки с торцевой поверхностью диска снижается, а при $Z > 3,0 \text{ мм}$, как уже указывалось выше, режим двустороннего соударения стрелы с ограничителями сменяется виброударным режимом ее одностороннего соударения только с нижним из них. Отсюда следует, что для надежного управления силовыми и временными параметрами процесса контактного взаимодействия заготовки с диском необходимо осуществлять регулирование зазора в диапазоне от 0 до 1,8–2,0 мм.

ВЫВОДЫ

1. Применительно к модернизированной промышленной распиловочной секции разработаны методика и аппаратные средства, позволяющие измерять значение нормальной составляющей силы соударения торцевой поверхно-

сти диска с обрабатываемой заготовкой, совершающей в плоскости распиливания двухмерное периодическое циркуляционное движение, а также их продолжительность контактного взаимодействия за период указанного движения.

2. На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных, отражающих влияние величины зазора между стрелой и верхним ограничителем на силовые и временные параметры контактного взаимодействия заготовки с диском, можно отметить следующее.

2.1. Существует максимальная (критическая) величина зазора Z_{\max} , с превышением которой режим двухстороннего виброударного взаимодействия стрелы с упругими ограничителями сменяется режимом ее одностороннего соударения только с нижним из них, при этом такой режим в силу неустойчивости его протекания и наличия периодов «зависания» стрелы между ограничителями нельзя рассматривать как рабочий.

2.2. Величина зазора Z влияет на частоту периодического циркуляционного движения заготовки $f_{\text{ц}}$. Причем в диапазоне изменения Z от 0 до 1,5 мм значение $f_{\text{ц}}$ остается практически неизменным и соответствует частоте вынужденных колебаний $f(f_{\text{ц}} = f = 5,1 \text{ Гц})$. При величине зазора 1,8–2,0 мм наблюдается повышение $f_{\text{ц}}$ до значения 5,5 Гц, а при дальнейшем увеличении зазора $f_{\text{ц}}$ снижается до 5,0 Гц. Показано, что при $Z = 1,8\text{--}2,0 \text{ мм}$ реализуется наиболее интенсивный (подобно резонансному) режим двухстороннего виброударного взаимодействия стрелы с упругими ограничителями.

2.3. Величина зазора оказывает влияние на продолжительность контактного взаимодействия заготовки с торцевой поверхностью диска $Z_{\text{к}}$. При этом наибольшее значение $t_{\text{к}} = 0,048 \text{ с}$ имеет место при $Z = 0$, а с увеличением зазора до 1,5 мм происходит резкое снижение $t_{\text{к}}$ до 0,007 с, которое при дальнейшем увеличении зазора до 3,0 мм остается постоянным.

2.4. Зависимость амплитудного значения нормальной составляющей силы соударения заготовки с диском ($P_{\text{дmax}}$) от величины зазора имеет два характерных участка. Так, по мере увеличения Z , начиная с нулевого значения, $P_{\text{дmax}}$ практически линейно возрастает, достигая

своего максимального значения $P_{\text{дmax}} = 14,8 \text{ Н}$ при $Z = 1,8\text{--}2,0 \text{ мм}$, а при дальнейшем увеличении зазора значение $P_{\text{дmax}}$ резко снижается.

2.5. Для надежного и эффективного управления силовыми и временными параметрами контактного взаимодействия заготовки с торцевой поверхностью диска, включая нормальную составляющую силы их соударения и продолжительность контактирования за период циркуляционного движения заготовки, необходимо осуществлять регулирование зазора между стрелой и верхним ограничителем в диапазоне от 0 до 2 мм.

3. На основании ранее полученных данных, отражающих влияние зазора между стрелой и верхним упругим ограничителем на расположение эллиптической траектории движения заготовки относительно диска и ее параметры, дано научное обоснование установленным зависимостям. В частности, показано, что возрастание нормальной составляющей силы соударения заготовки с диском по мере увеличения зазора от 0 до 2 мм связано с изменением расположения эллиптической траектории ее движения относительно торцевой поверхности диска за счет увеличения угла λ наклона большой оси эллипса к горизонтальной оси с одновременным увеличением его малой оси. В результате этого повышается интенсивность двустороннего виброударного взаимодействия стрелы с упругими ограничителями, обуславливая тем самым увеличение нормальной составляющей силы соударения заготовки с торцевой поверхностью диска и снижение времени их контактирования за период циркуляционного движения заготовки. В случае, когда величина зазора превышает 2 мм, несмотря на увеличение угла λ , интенсивность двустороннего виброударного режима взаимодействия стрелы с ограничителями падает, что связано со снижением силы ее соударения о верхний ограничитель. По этой причине происходит снижение нормальной составляющей силы соударения заготовки с поверхностью диска. Если величина зазора достигает своего критического значения (в рассматриваемом случае $Z > 3 \text{ мм}$), то режим двухстороннего виброударного взаимодействия стрелы с ограничителями сменяется нерабочим режимом ее одностороннего соударения только с нижним ограничителем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов, В. И. Технология обработки алмазов в бриллиантах: учеб. для сред. ПТУ / В. И. Епифанов, А. Я. Песина, Л. В. Зыков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 335 с.
2. Киселев, М. Г. Повышение интенсивности и качества распиливания твердых и сверхтвердых материалов путем сообщения заготовке двухмерного циркуляционного движения / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Вестник БНТУ. – 2011. – № 5. – С. 36–40.
3. Киселев, М. Г. Исследование временных и частотных параметров контактного взаимодействия заготовки с распиловочным диском при сообщении ей двухмерного периодического движения / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Вестник Полоцкого государственного университета. Секция. «Промышленность. Прикладные науки». – 2012. – № 3. – С. 102–108.
4. Киселев, М. Г. Влияние условий возбуждения стрелы распиловочной секции на параметры колебательного движения заготовки / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Материалы, технологии, инструмент. – 2013. – Т. 18, № 1. – С. 78–85.
5. Киселев, М. Г. Методики определения пространственно-временных параметров контактного взаимодействия колеблющейся заготовки с распиловочным диском / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная // Метрология и приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 26–29.

REFERENCES

1. Epifanov, V. I. Diamond Cutting Technology for Obtaining Gem-Grade Diamonds: Manual for Secondary Vocational Technical School / V. I. Epifanov, A. Ya. Pesina, L. V. Zykov. – 4th Revised & Updated Edition. – M.: Vysshaya Shkola (High School), 1987. – 335 p.
2. Kiselev, M. G. Higher Intensity and Quality Improvement in Sawing Hard and Superhard Materials while Conveying 2D Circulation Motion to Billet / M. G. Kiselev, A. V. Drozdov, D. A. Yamnaya // Vestnik BNTU. – 2011. – No 5. – P. 36–40.
3. Kiselev, M. G. Investigation of Timing and Frequency Parameters of Billet Contact Interaction with Sawing Disc while Conveying 2D Periodical Motion to the Billet / M. G. Kiselev, A. V. Drozdov, D. A. Yamnaya // Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Section: Industry. Applied Sciences. – 2012. – No 3. – P. 102–108.
4. Kiselev, M. G. Influence of Boom Excitation Conditions of Sawing Section on Parameters of Billet Vibratory Motion / M. G. Kiselev, A. V. Drozdov, D. A. Yamnaya // Materialy, Tekhnologii, Instrument (Materials. Technologies. Tools). – 2013. – Vol. 18, No 1. – P. 78–85.
5. Kiselev, M. G. Methods for Determination of Spatial and Timing Parameters of Contact Interaction of Vibrating Billet with Sawing Disc / M. G. Kiselev, A. V. Drozdov, D. A. Yamnaya // Metrologia i Priborostroenie (Metrology and Instrumentation). – 2012. – No 2. – P. 26–29.

Поступила 12.11.2013

УДК 629.7

ИНТЕРВАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Докт. техн. наук, проф. ЛОБАТЫЙ А. А., асп. АЛЬ-МАШХАДАНИ М. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: lobaty@tut.by

INTERVAL-OPTIMAL PROGRAMME CONTROL OF AIRCRAFT

LOBATY A. A., AL-MASHHADANI M. A.

Belarusian National Technical University

Решается задача аналитического синтеза управления летательным аппаратом при наведении его по траектории, заданной опорными точками в инерциальной системе координат, и заданном критерии оптимизации. Приводится пример, иллюстрирующий работоспособность предложенных теоретических положений.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система управления, задача наведения, траектория полета.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

The paper solves a problem pertaining to analytical synthesis of aircraft control while ensuring aircraft direction along its trajectory which is preset by reference data in the inertial coordinate system and a specified optimization criterion. An example illustrating working efficiency of the proposed theoretical statements has been given in the paper.

Keywords: unmanned flying machine, control system, guidance problem, flight line.

Fig. 3. Ref.: 5 titles.