

М.С. СТЕПАНОВ, М.С. ИВАНОВА, Е.В. БАСОВА, С.Е. СЛИПЧЕНКО, А.В. КОТЛЯР

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

Одним из способов повышения производительности обработки отверстий является обработка комбинированным осевым инструментом. Ввиду того, что такой инструмент является, как правило, специальным, его применение на производстве связано с повышенными экономическими затратами. В связи с этим рассмотрены вопросы обеспечения экономической эффективности применения комбинированного осевого инструмента по критериям: минимальной технологической себестоимости; максимальной производительности; максимального ресурса. Приведены математические зависимости, позволяющие определить экономию денежных средств от снижения затрат на изготовление и эксплуатацию инструмента; снижения технологической себестоимости обработки изделия по предложенной технологии; затрат на электроэнергию за счет сокращения затрат на силовую электроэнергию, затрат мощности на обработку, затрат электроэнергии на мощность привода подач. Отмечено, что в условиях нестабильных экономических показателей оценку экономической эффективности новой техники целесообразно проводить в рамках концепции Industry 4.0.

Ключевые слова: производительность; технологическая себестоимость; время обработки; затраты; обработка отверстий; комбинированный осевой инструмент.

М.С. СТЕПАНОВ, М.С. ИВАНОВА, Е.В. БАСОВА, С.Е. СЛИПЧЕНКО, О.В. КОТЛЯ

ТЕХНИКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

Одним зі способів підвищення продуктивності обробки отворів є обробка комбінованим осьовим інструментом. З огляду на те, що такий інструмент є, як правило, спеціальним, його застосування на виробництві пов'язано з підвищеними економічними витратами. У зв'язку з цим розглянуто питання забезпечення економічної ефективності застосування комбінованого осьового інструменту за критеріями: мінімальної технологічної собівартості; максимальної продуктивності; максимального ресурсу. Наведено математичні залежності, що дозволяють визначити економію коштів від зниження витрат на виготовлення і експлуатацію інструменту; зниження технологічної собівартості обробки виробу за запропонованою технологією; витрат на електроенергію за рахунок скорочення витрат на силову електроенергію, витрат потужності на обробку, витрат електроенергії на потужність привода подач. Відзначено, що в умовах нестабільних економічних показників оцінку економічної ефективності нової техніки доцільно проводити в рамках концепції Industry 4.0.

Ключевые слова: продуктивність; технологічна собівартість; час обробки; витрати; обробка отворів; комбінований осьовий інструмент.

M. STEPANOV, M. IVANOVA, YE. BASOVA, S. SLIPCHENKO, A. KOTLIAR

TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGY OF HOLE-MAKING PROCESSES BY A COMBINED AXIAL TOOL

One way to improve a hole machining is machining with a combined axial tool. Due to the fact that such tool is, as a rule, a special tool, its use in production is associated with increased economic costs. In this regard, the issues of ensuring the economic efficiency of the use of the combined axial tool are considered according to the criteria: minimum technological cost; maximum productivity; maximum life time. Mathematical dependences to determine the cost savings from reducing the cost of manufacturing and operating the tool; reduce the technological cost of processing products for the proposed technology; the cost of electricity by reducing the cost of power electricity, the cost of processing power, the cost of electricity for drive power are given. It is noted that in the conditions of unstable economic indicators, it is advisable to carry out an assessment of the economic efficiency of new equipment within the framework of the concept of Industry 4.0.

Keywords: productivity; prime cost; machining time; inputs; hole machining; combined axial tool.

Введение. Высокие темпы развития техники, сокращение сроков ее эксплуатации из-за быстрого морального старения, постоянный рост конкуренции в условиях рыночной экономики требуют от производителей сокращения времени на технологическую подготовку и производство изделий, уменьшение их себестоимости с одновременным обеспечением качества. Это приводит к постоянному поиску новых технологических решений, разработке более эффективного и производительного оборудования и инструментов.

Для обоснования целесообразности внедрения новой техники или технологии выполняют технико-экономический анализ изменений в технологической системе и экономической целесообразности проектирования, производства и эксплуатации новых технологических решений [1, 2]. При этом

эффективность мероприятий по внедрению новой техники и технологий в значительной степени обусловлена точностью соответствующих расчетов, особенно в условиях технологической модернизации и высокой изменчивости рынка [3].

Кроме того, важным фактором является также обеспечение минимальных сроков окупаемости технологического оборудования, что достигается оптимальным выбором средств технологического оснащения (режущего и вспомогательного инструмента; станочных приспособлений), которые составляют относительно небольшую долю производственных затрат на новое оборудование, но в случае рационального выбора позволяют существенно повысить производительность обработки [4, 5, 6].

Применение комбинированных осевых инструментов (КОИ) при обработке отверстий,

особенно ступенчатых, является одним из способов повышения производительности.

Наибольшее развитие применения КОИ получило в 70-80-е гг. XX ст. в массовом производстве для повышения производительности за счет концентрации технологических переходов на агрегатных станках и автоматических линиях. Обычно КОИ применяют для последовательной обработки одного сквозного отверстия или ступенчатых соосных поверхностей [7, 8, 9]. Причем считается, что с уменьшением серийности экономическая эффективность применения КОИ уменьшается.

Цель работы. Разработка методики оценки и исследование технико-экономических показателей эффективности обработки отверстий с применением КОИ.

Методика оценки технико-экономических показателей. Техничко-экономическая эффективность технологии с использованием КОИ оценивается путем ее сопоставления с технологией обработки стандартным осевым инструментом, которая имеет место в действующем производстве с учетом показателей, характеризующих качество и производительность обработки, стоимость инструмента, производительность обработки и т.д.

Источниками технико-экономической эффективности применения КОИ служат: сокращение номенклатуры и количества режущего инструмента; сокращение длительности производственного процесса; повышение производительности обработки; повышение точности обработки отверстия; увеличение периода стойкости инструмента; уменьшение затрат на электроэнергию.

Повышение производительности обработки заданной номенклатуры отверстий при использовании КОИ по сравнению с обработкой набором стандартных инструментов возможно обеспечить путем уменьшения составляющих времени цикла работа станка по программе (для станков с ЧПУ); уменьшения основного времени обработки за счет совмещения переходов; интенсификации режимов резания; сокращения производственного цикла за счет совершенствования технологического маршрута заготовок и т.д.

Кроме того, применение КОИ при обработке гладкого сквозного отверстия с целью распределения общего припуска между его ступенями позволяет уменьшить суммарные силовые нагрузки на инструмент и деталь, что приводит к снижению мощности, затрачиваемой на обработку, повышению точности обработки и возможности обрабатывать менее жесткие детали.

Распределение глубины резания между ступенями КОИ также дает возможность при неизменном периоде стойкости режущего инструмента интенсифицировать режимы резания, уменьшить силу (при заданных режимах резания повышать стойкость режущего инструмента, сокращать энергетические затраты путем уменьшения мощности резания, повышать точность и улучшать качество отверстия).

Экономическими критериями эффективности применения инструмента нового качества, в нашем случае – КОИ, являются: минимальная технологическая себестоимость; максимальная производительность; максимальный ресурс.

Производительность обработки определяется через штучное время $T_{шт}$:

$$П = \frac{1}{T_{шт}} \quad (1)$$

Штучное время определяется в соответствии с формулой

$$T_{шт} = (T_{ц.а} + T_{в}) \cdot \left(1 + \frac{a_{тех} + a_{огр} + a_{отл}}{100} \right), \quad (2)$$

где $T_{ц.а}$ – время цикла автоматической работы станка, мин.; $T_{в}$ – вспомогательное время на установку и снятие детали, вспомогательное время, связанное с переходом и время на измерение обработанной поверхности, мин.; $a_{тех}, a_{огр}, a_{отл}$ – время на техническое и организационное обслуживание рабочего места, а также на отдых и личные надобности, мин.

Время цикла работы станка по программе:

$$T_{ц.а} = \sum T_o + \sum T_{м.в} \quad (3)$$

где $T_{м.в}$ – машинно-вспомогательное время, мин.; T_o – основное время обработки, мин.

Основное время обработки

$$T_o = \frac{L_{px}}{n \cdot S_o} \quad (4)$$

К машинно-вспомогательному времени относится время на выполнение автоматических вспомогательных ходов $T_{м.в.х}$ и время на автоматическую смену инструмента $T_{м.в.см}$

$$T_{м.в} = T_{м.в.х} + T_{м.в.см} \quad (5)$$

Ресурс инструмента, выраженный в количестве заданной номенклатуры отверстий, обработанный за период стойкости

$$Q_{pu} = \frac{T}{T_o} \quad (6)$$

где T – период стойкости инструмента, мин.

Технологическая себестоимость при работе одним инструментом определяется по формуле [10].

$$C_{mex} = T_o \cdot E + \frac{T_c}{Q_{пу}} E + \frac{Z_u}{Q_{пу}}, \quad (7)$$

где T_c – время, затрачиваемое на снятие затупившегося инструмента, установку переточенного и подналадку станка, то есть время простоя станка в связи с заменой инструмента, мин; E – себестоимость 1-ой мин работы станка и станочника, грн.; Z_u – затраты, связанные с эксплуатацией инструмента за его период стойкости, грн.

Затраты, связанные с эксплуатацией инструмента за его период стойкости

$$Z_u = T_c \cdot E_n + C_{зам} + \frac{(C_{ин} - C_{отх}) \cdot K_y}{(i+1)}, \quad (8)$$

где E_n – номинальная заработная плата наладчика в 1 мин; $C_{зам}$ – стоимость заточки затупившегося инструмента, грн.; $C_{ин}$ – первоначальная стоимость инструмента, грн.; $C_{отх}$ – стоимость отходов инструмента, грн.; K_y – коэффициент, учитывающий случайную убыль инструмента; i – число переточек, допускаемых инструментом до его полуполного износа, шт.

Экономия затрат на инструмент

$$\mathcal{E}_u = \sum Z_u^{\bar{}} \cdot N_u - Z_u^H \cdot N_u, \quad (9)$$

где $Z_u^{\bar{}}$, Z_u^H – затраты на инструмент, соответственно, старого и нового наименования, грн.; N_u – необходимое количество комплектов инструментов для обработки партии деталей, шт.

Экономия от снижения технологической себестоимости

$$\mathcal{E}_c = (C_{mex}^{\bar{}} - C_{mex}^H) \cdot N_{дет}, \quad (10)$$

где $C_{mex}^{\bar{}}$, C_{mex}^H – технологическая себестоимость обработки одной детали инструментами, соответственно, старого и нового наименования, грн.;

$N_{дет}$ – количество деталей в партии, шт.

Экономия затрат на электроэнергию достигается за счет:

- уменьшения мощности резания:

$$\left. \begin{aligned} N_{эф.р} &= f(P_o, M_{кр}) \\ P_o^{КОИ} &< P_o^{см}; \\ M_{кр}^{КОИ} &< M_{кр}^{см}; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

- сокращения затрат электроэнергии на перемещение и смену инструмента.

Экономия за счет снижения затрат на силовую электроэнергию

$$\mathcal{E}_э = (N_{эл}^{\bar{}} - N_{эл}^H) \cdot B_{эл}, \quad (12)$$

где $N_{эл}^{\bar{}}$, $N_{эл}^H$ – суммарные затраты мощности при обработке отверстий, соответственно, стандартным инструментом и КОИ; $B_{эл}$ – стоимость одного киловатт часа электроэнергии.

Затраты мощности, необходимой для обработки отверстий, представляют собой

$$N_{эл}^{\bar{},H} = N_{эф.р} + N_{пр.л} + N_{пер}, \quad (13)$$

где $N_{эф.р}$ – затраты на эффективную мощность резания, кВт.; $N_{пр.л}$ – затраты на мощность привода подач, кВт.; $N_{пер}$ – затраты на перемещение инструмента, например, в инструментальном магазине или револьверной головке, кВт.

Эффективная мощность резания определяется по формуле

$$N_{эф.р}^{\bar{},H} = \frac{M_{кр}^{\bar{},H} \cdot n}{9750}, \quad (14)$$

где $M_{кр}^{\bar{},H}$ – крутящий момент, Нм; n – частота вращения инструмента, об/мин.

Затраты электроэнергии на мощность привода подач

$$N_{пр.л} = N_{рх} + N_{бх}, \quad (15)$$

где $N_{рх}$ – затраты электроэнергии на мощность привода подач для рабочего хода; $N_{бх}$ – затраты электроэнергии на мощность привода подач для быстрых перемещения.

Обработка результатов исследования.

Проведем технико-экономический анализ эффективности обработки заданной номенклатуры отверстий с применением КОИ для изготовления на примере детали «Крышка» (рис. 1).

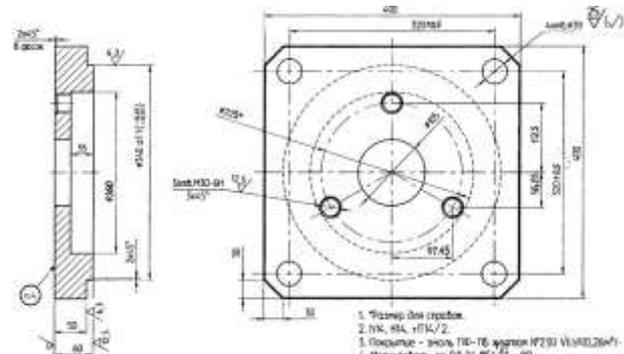
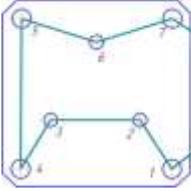
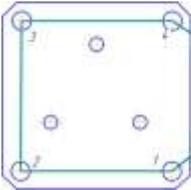
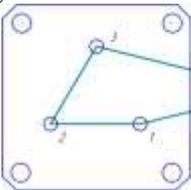
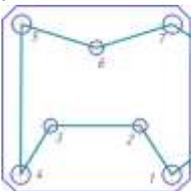
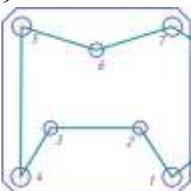


Рис. 1 – Деталь «Крышка»

Выполним сравнение трех вариантов маршрутов обработки отверстий данной детали (табл. 1):

Таблица 1 – Варианты обработки отверстий детали «Крышка»

Вариант маршрута	Содержание перехода и схема перемещений инструмента	Параметры отверстия		Параметры инструмента/ступени	
		Диаметр, мм	Длина, мм	Диаметр, мм	Длина, мм
29	 <p>Сверлить 7 отверстий Ø 29</p>	9	0	9	75
		9	5		
	 <p>Расверлить 4 отверстия Ø 39</p>	9	0	9	00
	 <p>Зенковать 3 фаски под резьбу</p>			5	65
	 <p>Обработать трехступенчатым сверлом Ø29/39</p>	9	0	9	5
				9	35
		9	5	9	5
				9	35
	 <p>Обработать трехступенчатым сверлом Ø29/39</p>	9	0	9	0
				9	70
		9	5	9	0
				9	70

1) последовательная обработка набором стандартных инструментов;

2) обработка двухступенчатым сверлом Ø29/39 с последовательной работой ступеней;

3) обработка двухступенчатым сверлом Ø29/39 с последовательно-параллельной работой ступеней.

Таблица 2 – Показатели повышения производительности обработки отверстий в детали «Крышка»

Показатель	Вариант маршрута		
	1	2	3
Основное время обработки T_o , мин	4,86 1,94 0,29	11,10	5,46
Время смены инструмента $T_{м..в.см}$, мин	0,06 0,06	-	-
Время вспомогательных ходов $T_{м..в.х}$, мин	2,9	1,24	1,15
Время цикла работы станка по программе $T_{ц.а}$, мин	10,11	11,1	6,61
Производительность P , мин ⁻¹	0,10	0,09	0,15

Для рассматриваемой детали и предложенных вариантов, применение КОИ с последовательной работой ступеней не позволяет повысить производительность. Это объясняется большой длиной рабочего хода. Таким образом, при проектировании маршрутной технологии обработки системы отверстий с применением КОИ с целью повышения производительности длина инструмента и, зависящая от него, длина рабочего хода являются ограничивающим фактором. Кроме того, она также влияет и на жесткость инструмента, и, как следствие, на точность обрабатываемого отверстия.

С другой стороны, следует принимать во внимание, что расходы на приобретение и обслуживание КОИ могут превышать расходы на приобретение комплекта стандартных инструментов, необходимых для обработки того же количества деталей. То есть, экономия затрат – переменная величина, зависящая от необходимого количества комплектов инструментов для обработки заданной номенклатуры отверстий, которая зависит от текущих рыночных цен. При этом, затраты на инструмент покрываются за счет экономии затрат на электроэнергию и снижения технологической себестоимости обработки.

Экономия затрат на электроэнергию зависит от технических характеристик электродвигателей, применяемых в конкретном металлорежущем станке и стоимости электроэнергии.

Вывод. Экономическая эффективность применения КОИ зависит от технологической себестоимости обработки, затрат на изготовления и эксплуатацию инструмента, затрат на потребляемую оборудованием электроэнергию. Причем, т.к. эти величины напрямую зависят от текущих рыночных цен на материал, инструмент, электроэнергию и т.п., то величина экономической эффективности применения нового инструмента не постоянна во времени, и может

стремительно меняться. В связи с этим целесообразно сокращать время, затрачиваемое на технологическую подготовку производства, сокращать сроки выполнения технического задания, а также искать пути ускорения выполнения оценки технико-экономических показателей, например, за счет разработки соответствующего программного обеспечения, позволяющего выполнять расчеты в режиме реального времени. Что может быть реализовано в рамках концепции Industry 4.0, JavaMashCluster.

Список литературы

1. Макаренко С. И. Техничко-економический анализ целесообразности внедрения новых технологических решений. *Системы управления, связи и безопасности*. №1. 2016. С. 278 – 287.
2. Гончаров, В. В. *Адаптация промышленных предприятий к научно-техническим новшествам*. Киев: Техника, 1992. 132 с
3. Зиядуллаев Н.С., Попов Р.А. Оценка эффективности научно-технических новаций в промышленности и капитальном строительстве в условиях волатильности экономической среды. *Экономика строительства*. № 4 (34). 2015. С. 17-23.
4. Карпусь В.Е. Иванова М.С., Котляр А.В. Влияние технологической оснастки на производительность механообработки. *Вісник СевНТУ. Вип. 107: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. С. 87 – 90.*
5. Карпусь В. Е., Котляр А. В. Система критериев оценки технологических решений. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Харків : НТУ «ХПІ». 2008. № 23. С. 79–86.
6. Иноземцев Г.Г. *Проектирование металлорежущих инструментов: Учебн. пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»*. М.: Машиностроение. 1984. 272 с.
7. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. *Режущий инструмент: Учебник для вузов*. М.: Машиностроение. 2005. 528 с.
8. Родин П.Р. *Металлорежущие инструменты*. К.: Издательское объединение «Вища школа». 1974. 399 с.
9. Бобров В. Ф. *Основы теории резания металлов*. М.: Машиностроение. 1975. – 344 с.
10. Карпусь В.Е. Миненко Д.А., Фуников А.А. Выбор режимов максимальной производительности обработки на многоцелевых

станках. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Харків: НТУ «ХПІ». 2006. №18. С. 107 – 115.

References (transliterated)

1. Makarenko S. I. Tehnicho-ekonomicheskij analiz celesoobraznosti vnedrenija novyh tehnologicheskikh reshenij. [Technical and economic analysis of the feasibility of introducing new technological solutions]. *Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti*. №1. 2016. pp. 278 – 287.
2. Goncharov, V. V. *Adaptacija promyshlennyh predprijatij k nauchno-tehnicheskim novshestvam*. [Adaptation of industrial enterprises to scientific and technical innovations]. Kiev: Tehnika, 1992. 132 p.
3. Zijadullaev N.S., Popov R.A. Ocenka jeffektivnosti nauchno-tehnicheskikh novacij v promyshlennosti i kapital'nom stroitel'stve v uslovijah volatil'nosti jekonomicheskoy sredy. [Evaluation of the effectiveness of scientific and technical innovations in industry and capital construction in the context of the volatility of the economic environment]. *Ekonomika stroitel'stva*. № 4 (34). 2015. pp. 17-23.
4. Karpus' V.E. Ivanova M.S., Kotljars A.V. Vlijanie tehnologicheskoy osnastki na proizvoditel'nost' mehanooobrabotki. [The impact of tooling on the performance of machining]. *Visnik SevNTU. Vip. 107: Mashinoprikladobuduvannja ta transport: zb. nauk. pr. Sevastopol': Vid-vo SevNTU, 2010. pp. 87 – 90.*
5. Karpus' V. E., Kotljars A. V. Sistema kriteriev ocenki tehnologicheskikh reshenij. [The system of criteria for evaluating technological solutions]. *Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universitetu "Kharkiv'skij politehničnij instytut"*. Kharkiv : NTU "HPI". 2008. № 23. pp. 79–86.
6. Inozemcev G.G. *Proektirovanie metallovezhushhijh instrumentov: Uchebn. posobie dlja vtuzov po special'nosti «Tehnologija mashinostroenija, metallovezhushhie stanki i instrumenty»*. [Design of metal-cutting tools]. M.: Mashinostroenie. 1984. 272 p.
7. Kozhevnikov D.V., Grechishnikov V.A., Kirsanov S.V., Kokarev V.I., Shirladze A.G. *Rezhushhij instrument: Uchebnik dlja vuzov.* [Cutting tool] M.: Mashinostroenie. 2005. 528 p.
8. Rodin P.R. *Metallovezhushhijh instrumenty*. [Metal-cutting tools]. K.: Izdatel'skoe ob'edinenie «Vishha shkola». 1974. 399 p.
9. Bobrov V. F. *Osnovy teorii rezanija metallov*. [Fundamentals of the theory of cutting metals]. M.: Mashinostroenie. 1975. – 344 p.
10. Karpus' V.E. Minenko D.A., Funikov A.A. Vyborm rezhimov maksimal'noj proizvoditel'nosti obrabotki na mnogocelevykh stankah. [Selection of modes for maximum processing performance on multi-purpose machines]. *Visnik NTU «HPI»*. Harkiv: NTU «HPI». 2006. №18. pp. 107 – 115.

Поступила (received) 23.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Степанов Михайло Сергійович (Степанов Михаил Сергеевич, Mykhailo Stepanov) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологія машинобудування і металорізальні верстати Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2224-6509>; тел.: (057) 720-66-25.

Іванова Марина Сергіївна (Іванова Марина Сергеевна, Maryna Ivanova) – кандидат технічних наук, доц. кафедри Технології машиностроєння і металорежущих станків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0848-6805>; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: ivanovamaryna1@gmail.com.

Басова Євгенія Володимирівна (Басова Евгения Владимировна, Yevheniia Basova) – кандидат технічних наук, доц. кафедри Технології машиностроєння і металорежущих станків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8549-4788>; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: e.v.basova.khpi@gmail.com.

Сліпченко Сергій Євгенович (Слипченко Сергей Евгеньевич, Slipchenko Serhii Yevgenovych) – старший викладач Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (057)-720-66-25, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0593-3750>, e-mail: serg.slip@gmail.com.

Котляр Олексій Віталійович (Котляр Алексей Витальевич, Alexey Kotliar) – кандидат технічних наук, доц. кафедри Технології машиностроєння і металорежущих станків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-0395>, (057) 720-66-25; e-mail: Alexeykotliar@gmail.com.