

КЛИМЕНКО Г.П., МИРОНЕНКО Е.В., ФАДЕЕВ В.А., ЗАКОВОРОТНЫЙ А.Ю. ИЩЕНКО Г.И.

ЦЕЛЕВЫЕ ФУНКЦИИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА СЕМЕЙСТВ КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ БЛОЧНО – МОДУЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ТЯЖЕЛЫХ СТАНКАХ

В статье рассмотрены целевые функции представительства семейств критериев оптимизации блочно - модульного инструмента на тяжелых токарных станках, которые учитывают свойства технологических систем и критерии их оптимальности. Для обеспечения эксплуатационных свойств поверхностей инструмента предложены коэффициенты для функций эксплуатации, являющиеся целевыми, которые показывают взаимосвязь эксплуатационной, технологической и стоимостной функций. Для получения значений весовостей критериев и отбора необходимого числа критериев для оптимизации параметров блочно-модульного режущего инструмента и режимов его эксплуатации на стадии проектирования использовались положения теории информации. Для получения представительного семейства критериев для многокритериальной и многопараметрической оптимизации процессов механической обработки предложена система критериев: критерий полноты; критерий минимальности, критерий операциональности, критерий измеримости; критерий автономной информативности; критерий экономичности. Для определения весовостей критериев оптимальности режущего инструмента и технологической системы предложено использовать показатели информативности - полноты оценки совокупности свойств, составляющих качество модульного инструмента и определяющих эффективность данных критериев и значимость этого критерия, как для завода-изготовителя, так и для завода-потребителя с точки зрения его влияния на цену инструмента. Для оптимизации параметров технологической системы была проведена экспертная оценка, учитывающая различные условия производства, как с позиции предприятия изготовителя, так и с позиции предприятия потребителя.

Ключевые слова: эксплуатационная, технологическая, стоимостная функция, критерий оптимизации, блочно - модульный инструмент, тяжелые токарные станки, представительство семейства критериев, экспертная оценка,

**КЛИМЕНКО Г.П., МИРОНЕНКО Е.В., ФАДЕЕВ В.А., ЗАКОВОРОТНЫЙ А.Ю. ИЩЕНКО Г.И.
ЦІЛЬОВІ ФУНКЦІЇ ПРЕДСТАВНИЦТВА СІМЕЙСТВА КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ БЛОЧНО - МОДУЛЬНОГО
ІНСТРУМЕНТУ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ**

У статті розглянуті цільові функції представництва сімейств критеріїв оптимізації блочно - модульного інструменту на важких токарних верстатах, які враховують властивості технологічних систем і критерії їх оптимальності. Для забезпечення експлуатаційних властивостей поверхонь інструменту запропоновані коефіцієнти для функцій експлуатації, є цільовими, які показують взаємозв'язок експлуатаційної, технологічної та вартісної функцій. Для отримання значень вагомості критеріїв і відбору необхідної кількості критеріїв для оптимізації параметрів блочно-модульного ріжучого інструменту і режимів його експлуатації на стадії проектування використовувалися положення теорії інформації. Для отримання представницького сімейства критеріїв для багатокритеріальної і багатопараметричної оптимізації процесів механічної обробки запропонована система критеріїв: критерій повноти; критерій мінімальності, критерій операциональності, критерій вимірності; критерій автономної информативності; критерій економічності. Для визначення вагомості критеріїв оптимальності ріжучого інструменту і технологічної системи запропоновано використовувати показники информативності - повноти оцінки сукупності властивостей, які складають якість модульного інструменту і визначають ефективність даних критеріїв і значимість цього критерію, як для заводу-виробничача, так і для заводу-споживача з точки зору його впливу на ціну інструменту. Для оптимізації параметрів технологічної системи була проведена експертна оцінка, що враховує різні умови виробництва, як з позиції підприємства-виробника, так і з позиції підприємства споживача.

Ключові слова: експлуатаційна, технологічна, вартісна функція, критерій оптимізації, блочно - модульний інструмент, важкі токарні верстати, представництво сімейства критеріїв, експертна оцінка.

**KLIMENKO G.P., MIRONENKO E.V., FADEEV V.A., ZAKOROTNY A.Yu. ISCHENKO G.I.
TARGET FUNCTIONS OF THE REPRESENTATIVE OFFICE OF FAMILIES OF CRITERIA FOR OPTIMIZATION CRITERIA
OF BLOCK - MODULAR TOOL ON HEAVY MACHINES**

The article discusses the target functions of family representation, the criterion of optimization of the block - modular tool on heavy lathes, which take into account the properties of technological systems and the criteria for their optimality. To ensure the operational properties of tool surfaces, coefficients are proposed for the operating functions, which are target ones, which show the interconnection of operational, technological and cost functions. To obtain the values of the weighting criteria and selecting the necessary number of criteria for optimizing the parameters of a block-modular cutting tool and its operating modes at the design stage, the provisions of information theory were used. To obtain a representative family of criteria for multi-criteria and multi-parameter optimization of machining processes, a system of criteria is proposed: a completeness criterion; criterion of minimality, criterion of operability, criterion of measurability; autonomous information content criterion; criterion of profitability. To determine the weight of the criteria for optimality of the cutting tool and the technological system, it is proposed to use information indicators - the completeness of the assessment of the set of properties that make up the quality of a modular tool and determine the effectiveness of these criteria and the significance of this criterion, both for the manufacturer and the consumer plant in terms of its influence on the price of the instrument. To optimize the parameters of the technological system, an expert assessment was carried out, taking into account various production conditions, both from the position of the manufacturer and from the position of the consumer.

Key words: operational, technological, cost function, optimization criterion, block - modular tool, heavy lathes, representation of a family of criteria, expert assessment.

1. Введение. Согласно требованиям системного подхода необходимо выявить достаточно полную номенклатуру критериев, обуславливающих эффективность механической обработки деталей на тяжелых станках. При этом необходимо рассмотреть их с точки зрения возможности установления связи с управляющими переменными, то есть получение целевых функций.

Так как получение и использование целевых

функций в ряде случаев является достаточно сложной задачей, требуется показать, как в каждом конкретном случае выбрать представительное семейство критериев (ПСК). Например, для обеспечения эксплуатационных свойств поверхностей инструмента могут быть применены коэффициенты для функций эксплуатации, являющиеся целевыми, которые показывают взаимосвязь эксплуатационной, технологической и стоимостной функций (табл. 1):

© Г.П. Клименко, Е.В. Мироненко, В.А. Фадеев, А.Ю. Заковоротный, Г.И. Ищенко, 2020

Таблица 1 – Взаимосвязь эксплуатационной, технологической и стоимостной функций

№	Название коэффициента и пояснения	Выражение для нахождения коэффициента
1	Коэффициент совместимости данного метода обработки при обеспечении эксплуатационных свойств	$K_1 = P(\cap D_{ij}) = \prod_{N=1}^{n-m} P(D_{\Sigma ij}) \quad (1)$
	Коэффициент показывает насколько обоснованно применять метод для совместного обеспечения нескольких требуемых комплексных показателей, характеризующих эксплуатационные свойства поверхности	
2	Вероятность обеспечения заданных эксплуатационных свойств данным методом обработки	$K_2 = P(\cap A_{ij}) = \prod_{N=1}^{n-m} P(A_{\Sigma ij}) \quad (2)$
	Коэффициент показывает насколько обоснованно применен метод для обеспечения заданных значений комплексных и регламентируемых параметров состояния поверхности	
3	Коэффициент эффективности использования данного метода обработки	$K_3 = \frac{K_2}{K_1} \quad (3)$
	Коэффициент указывает на уровень ограничений, которые необходимо ввести при использовании рассматриваемого метода обработки	
4	Коэффициент обоснованности регламентации	$K_4 = P(\cap P_{ij}) = \prod_{N=1}^{n-m} P(P_{\Sigma ij}) \quad (4)$
	Коэффициент показывает насколько правильно назначены границы регламентации на стадии конструкторской проработки	$P(P_{\Sigma ij}) = S_{P_{\Sigma ij}} / S_{P_{ij}} \quad (5)$
5	Коэффициент обеспечения значений обоснованной регламентации	$K_5 = S_{A_{\Sigma ij}} / S_{P_{\Sigma ij}} \quad (6)$
	Коэффициент показывает какая часть множества регламентированных значений обеспечивается данным методом обработки	
6	Максимальная величина технологических затрат	$K_6 = C_{A_{\Sigma \max}} \quad (7)$
		$K_7 = C_{D_{\Sigma \max}} \quad (8)$
7	Коэффициент возможных снижений затрат	$K_8 = \frac{C_{A_{\Sigma \max}} - C_{A_{\Sigma \min}}}{C_{A_{\Sigma \max}}} \quad (9)$
		$K_9 = \frac{C_{D_{\Sigma \max}} - C_{D_{\Sigma \min}}}{C_{D_{\Sigma \max}}} \quad (10)$
	Коэффициент показывает каковы потенциальные возможности снижения технологических затрат при обеспечении заданных эксплуатационных свойств данным методом обработки	

2. Анализ последних исследований и публикаций.

С целью выявления и предварительного выбора критериев в табл. 2 приведены характеристики технологической системы и входящих в нее элементов, а также показатели этих свойств, некоторые из которых целесообразно принять за критерии оптимальности.

Рассматриваемые критерии разделены на 3 группы: технико-экономические, экономические и связанные с человеком (человеческий фактор).

Среди свойств назначения и вообще технико-экономических свойств важным является качество поверхности. Однако качество требуется не "чем выше, тем лучше", а определенное - заданное чертежом детали и другой документацией. Поэтому качество обработки в большинстве случаев целесообразно учитывать в ограничениях. Так, точность обработки может потребовать наложения

функциональных ограничений непосредственно на показатели точности или на силы резания, например:

$$P_Y < P_{YT}, \quad (11)$$

Где, P_Y – радиальная составляющая силы резания; P_{YT} – допустимая радиальная сила по точности обработки.

Обеспечение требуемой шероховатости поверхности требует введения ограничения подачи. Например, при точении:

$$S_{III} < C_M R_Z^{lu} V^{nu}, \quad (12)$$

Где, S_{III} – подача; C_M – постоянный коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и других факторов; R_Z – высота неровностей; V – скорость резания.

Вторым важнейшим свойством, относящимся к свойствам назначения, является производительность обработки. Она складывается из производительности процесса резания и времени восстановления

технологической системы. Показателем производительности обработки служит штучное время t_{um} :

$$t_{um} = t_0 \left(1 + \frac{t_B}{T} \right), \quad (13)$$

где, t_0 – время резания; t_B – время смены инструмента; T – стойкость.

При строгом определении свойством назначения является не производительность обработки $1/t_{um}$, а производительность процесса резания, так как цель ТС – формообразование детали, которое осуществляется в процессе резания. Его критерий – основное время t_0 . Для тяжелых станков удобно критерием производительности восстановления технологической системы (ТС) принимать время восстановления t_B . Это очень информативный показатель. Он отражает также ремонтпригодность. Поэтому t_B можно рассматривать как один из критериев надежности. Кроме того, t_B учитывает эргономические характеристики ТС.

В последние годы большое внимание уделяют свойству гибкости, возможности использования ТС для различной обработки и приспособленности к переходу на другую обработку с минимальными потерями средств. Это свойство также отражается на времени восстановления. Поэтому, если рассматривать достаточно большой отрезок времени, в течение которого обрабатывают различные детали и выполняют различные переходы, t_B является также показателем гибкости ТС.

Рассмотрим все аспекты обеспечения гибкости инструмента. Например, большое значение имеет широта диапазона элементов режима резания, в

пределах которого осуществляется устойчивое стружкодробление. Его показателем может, например, служить соответствующий диапазон подач ΔS_C .

Важным в современном производстве является свойство надежности. Из свойств, составляющих надежность, остановимся на безотказности и долговечности. Они, в свою очередь, обуславливаются главным образом виброустойчивостью ТС, прочностью и износостойкостью инструмента, сохраняемостью до съема резца, способностью к стружкодроблению.

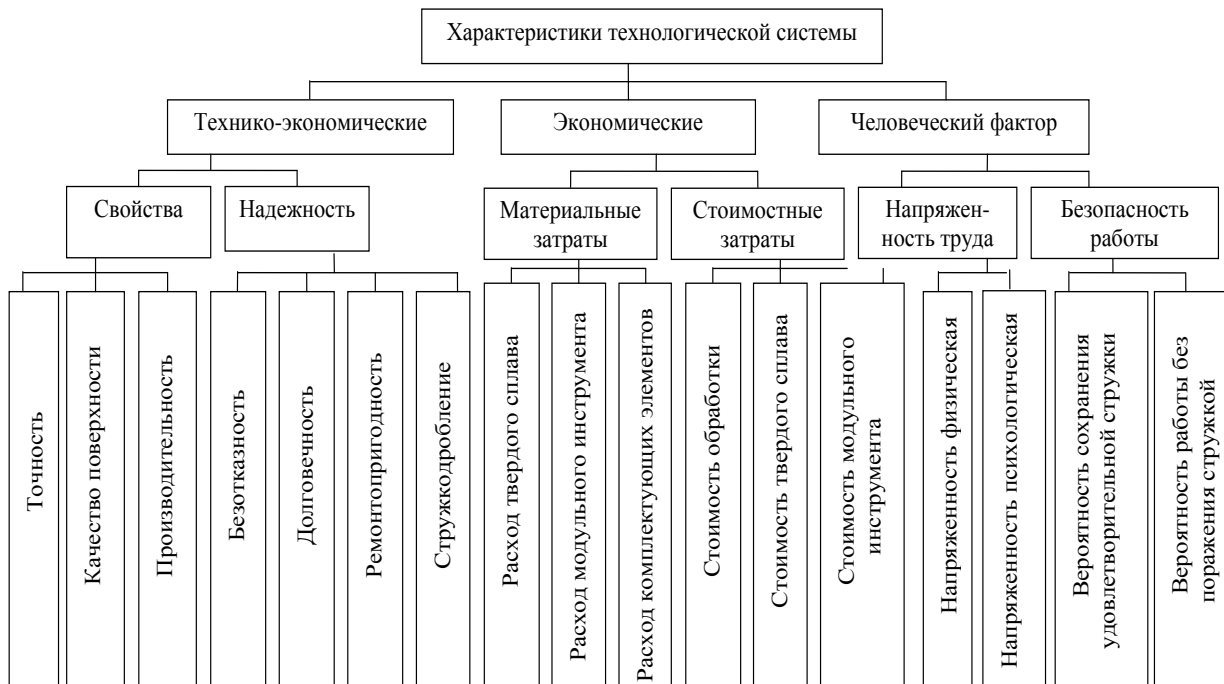
Показателем прочности твердосплавного инструмента для тяжелых станков является число периодов стойкости до разрушения K -пластины и K_M -модуля. Для инструмента со сменными многогранными пластинами вместо K может применяться q – доля или вероятность поломок, причем:

$$K = Z_B(1 - q), \quad (14)$$

где, Z_B – число вершин или граней. Произведение $K_T = \sum T$ – полный период стойкости является критерием долговечности инструмента.

Рассмотренные временные критерии надежности являются случайными величинами, которые испытывают рассеивание под действием изменения инструмента и обрабатываемого материала, жесткости ТС, состояния и квалификации станочника и других факторов. Поэтому обозначим большими буквами $K_B, K_\sigma, K, T, T_C, \sum T$ средние значения показателей надежности для определенной выборки.

Таблица 2 – Характеристики технологической системы



Специфическим критерием безотказности является гамма-процентный период стойкости T_γ – то есть период стойкости, который выдерживают γ % инструментов. Очень удобным показателем безотказности является коэффициент вариации стойкости $W_T, T_\gamma, W_T, \sum T$ зависят как от износостойкости, так и от прочности инструмента.

3. Цель исследования. Критериями оптимальности являются также материальные затраты - затраты материалов, прошлого овещественного труда. Особое значение приобретают некоторые виды затрат в связи с исчерпанием природных ресурсов, например, запасов вольфрама, некоторых видов энергии. В рассматриваемом случае важно учитывать удельный расход R_C твердого сплава как содержащего дефицитные компоненты, а в отдельных случаях и расход комплектов инструмента R_{II} (корпусов, модулей, опор, стружколомов и т.д.).

Сначала можно определить расход пластин твердого сплава:

$$R_{II} = \frac{t_o}{KT}, \frac{um}{m^2}. \quad (15)$$

Отсюда получаем расход твердого сплава R_C и расход инструмента (комплектов блока или модуля, кроме режущих пластин) R_K :

$$R_C = M_{II} R_{II} = \lambda l h b R_n, \text{ } \varepsilon / m^2; \quad (16)$$

$$R_K = \frac{R_n}{Z}, \text{ } um / m^2, \quad (17)$$

Где, M_n – масса пластины, г/шт; γ – удельная масса твердого сплава, г/мм³; l, h, b – соответственно длина, толщина и ширина пластины, мм; Z – число пластин в комплекте.

4. Изложение основного материала. Экономическими критериями служат стоимость собственно обработки, стоимость твердого сплава, стоимость инструмента и другие расходы. Для них установлены следующие показатели (в порядке упоминания): $E_{шт}$; $A_C R_C$; $A_{II} K_{II}$, где E – стоимость станко-часа, A_C – стоимость твердого сплава, A_{II} – стоимость комплекта инструмента (без твердого сплава).

Параметр E может включать только 1-ую группу затрат, пропорциональную трудоемкости обработки: заработную плату станочников, затраты на электроэнергию и вспомогательные материалы или также 2-ую группу: затраты на амортизацию и ремонт основного оборудования, амортизацию и содержание помещения и т.д. В зависимости от того, будет ли E равна 1-ой, 1+2-й или всем группам затрат, денежные затраты будут представлять собой, главным образом, затраты на резание (входящие сюда затраты на инструмент учитывают отдельно) и труд станочников, цеховые расходы или приведенные затраты (в указанных случаях E будет обозначаться соответственно E_1, E_2 и E_3). Стоимость станка оказывает большое влияние на данные затраты, расходуемые на обработку 1 детали. Однако, для экономических расчетов не всегда следует брать полные приведенные затраты, а только

определяющую их группу. Рассмотрим некоторые закономерности для тяжелых токарных станков.

Стоимость станко-часа E с учетом различных групп затрат аппроксимируются уравнением:

$$E = C_e D_C^{0.2} \quad (18)$$

где, C_e – коэффициент, D_C – основной размерный параметр станка.

Стоимость обработки складывается из стоимости процесса резания и стоимости восстановления ТС. Также могут быть разложены и другие элементы денежных затрат. В определенных случаях необходимо учитывать величины оборотных фондов F_0 твердого сплава на рабочем месте:

$$F_0 = M_n Z_n n_B t_{um} / F, \quad (19)$$

Где, Z_n – число запасных пластин одного вида; n_B – число видов пластин; F_0 – эффективный фонд времени работы станка.

В целом затраты на обработку 1 м² поверхности детали составляют:

$$A = E t_{um} + A_C R_C + A_{II} R_{II} + A_0 F_0 \quad (20)$$

В настоящей работе приведены два критерия: напряженность труда станочника и безопасность станочника, связанная со стружкодроблением. Напряженность труда оценивается некоторой безразмерной величиной H_p , отражающей число физических и логических операций, выполняемых в единицу времени. H_p обуславливается физической и психофизиологической нагрузкой.

Для получения значений весомостей критериев и отбора необходимого числа критериев для оптимизации параметров блочно-модульного режущего инструмента и режимов его эксплуатации на стадии проектирования использовались положения теории информации.

Информация - результат выбора, функция отношения числа возможных ответов, до и после её получения. Количество информации можно определить через энтропию. Вначале определялось целесообразное число критериев в ПСК. Если начальная энтропия системы A равна $H(A)$, а после получения информации она составит $H^*(A)$, то внесенная информация J равна:

$$J = H(A) - H^*(A). \quad (21)$$

В этом случае одна система состоит из одного элемента - критерия, который может иметь m состояний (m - балльность шкалы). Требуется найти максимально возможную энтропию сложной системы, объединяющей n статистически независимых систем (n -количество критериев).

Число состояний каждой системы $N = m$. Для каждой системы $H_{max} = \log(m)$. Энтропия сложной системы, объединяющей n статистически независимых систем, равна сумме энтропии этих систем:

$$H_{MAX} = \sum_1^n \log(m) = n \log(m). \quad (22)$$

Т.к. $H(A) = 0$ (энтропия после получения информации = 0), то количество информации в зависимости от числа критериев:

$$J(n) = n \log(m). \quad (23)$$

Для комплекса статистически независимых систем (критериев) приращение количества информации $\Delta \cdot J$ при увеличении числа критериев равно:

$$\Delta \cdot J = \frac{1}{n+1} \log(m). \quad (24)$$

Здесь Δ - вклад (n+1) критерия в общее количество информации системы.

Количественно величина изменения приращения количества информации оценивается первой производной:

$$(\Delta \cdot J)' = \frac{\log(m)}{(n+1)^2} \quad (25)$$

Из графика (рис. 1) видно, что с увеличением числа критериев, более 7, приращение количества информации резко уменьшается (менее 0.5 %), а при $n > 9$ стремится к нулю. В то же время при малых n ($n < 4$) это приращение велико (более 1 %). С другой стороны, из справочных данных по психофизиологическим и иным возможностям человека следует, что число критериев (свойств, объектов), которое может одновременно охватить человек, составляет 4 ... 7.

Предложенный способ определения количества свойств (критериев) не учитывает их важности. При расположении свойств в ранжированный ряд весомость каждого последующего свойства не превышает весомости предыдущих. С ростом числа свойств весомости, а, следовательно, и количественное влияние на комплексный показатель исследуемого объекта последних критериев ранжированного ряда резко снижаются. Это также свидетельствует о нецелесообразности значительного увеличения числа критериев.

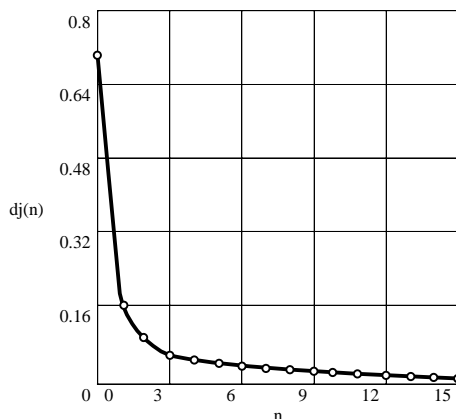


Рис. 1 – Рассчитанная скорость приращения количества информации

Для получения представительного семейства критериев для многокритериальной и многопараметрической оптимизации ПМО предлагается следующая система критериев:

1) Критерий полноты. Использование дополнительных критериев не меняет результаты, а отбрасывание хотя бы одного приводит к изменению результатов.

2) Критерий минимальности. Набор должен содержать как можно меньшее число критериев.

3) Критерий операциональности. Каждый критерий должен иметь понятную формулировку, ясный и однозначный смысл, быть удобным для практических расчетов.

4) Критерий измеримости. Каждый критерий должен допускать возможность количественной оценки.

5) Критерий автономной информативности. Каждый критерий должен содержать возможно больше информации, не исчерпанной информацией, содержащейся в других критериях и не являющейся аддитивной по отношению к последней. Этот критерий имеет особое значение в связи с идеологией многокритериальности.

6) Критерий экономичности. Получение представительного семейства критериев должно требовать минимальных затрат.

Эта система отвечает требованиям логической непротиворечивости, соответствует условиям стоящей задачи, конструктивна и может служить основанием для построения механизма выбора. Она называется далее системой критериев нулевого уровня и используется для определения качественного состава ПСК. Вектор критериев, который формируется, таким образом, существенно сказывается на решении.

Для определения весомостей критериев (ВК) оптимальности режущего инструмента и технологической системы использовались следующие показатели:

1. Информативность - полнота оценки совокупности свойств, составляющих качество модульного инструмента и определяющих эффективность данных критериев;

2. Значимость этого критерия, как для завода-изготовителя, так и для завода-потребителя с точки зрения его влияния на цену инструмента.

Главный принцип, используемый в дальнейшем определении весомости критериев (ВК), состоит в следующем: ценность критерия определяется количеством информации, которая им вносится. Информативность аналитически предлагается определять следующим образом. Количество возможных сообщений n с помощью алфавита из m символов равно. $N = n$. Количество информации, отвечающее требованию аддитивности, обычно принимается равным:

$$J = \log(N) = m \log(n). \quad (26)$$

В качестве m было взято общее число исходных постоянных и управляемых переменных, а в качестве n число постоянных и переменных, используемых в данной целевой функции или целевом функционале, определяющем данный критерий. Этим методом была посчитана информативность критериев оптимальности, используемых при оптимизации параметров тяжелых токарных станков с точки зрения теории информации и полученная весомость была сопоставлена с весомостью, полученной далее методом групповой экспертизы (табл. 3). В

большинстве случаев совпадение оценок оказалось удовлетворительным.

Значимость аналитически предлагается определять как степень влияния данного критерия на интегральный показатель технико-экономической

эффективности $K_{мэ}$ и социально-экологический результат применения оцениваемого объекта $K_{сэ}$, взятых с соответствующими весами: $K_{и} = K_{мэ}B_{мэ} + K_{сэ}B_{сэ}$.

Таблица 3 – Таблица весомостей критериев

Критерий	Число Пар. ЦФ	Весомость, полученная	
		Теоретически	В ходе экспертизы
Приведенные затраты	14	0,213	0,213
Напряженность	8	0,142	0,12
Производительность	8	0,142	0,188
Расход твердого сплава	9	0,156	0,138
Расход инструмента	7	0,114	0,091

Получение уравнения для $K_{и}$ является отдельной, достаточно сложной задачей. Представляется, что наилучшим было бы принять, что $K_{мэ} =$ прибыль. $K_{сэ}$ можно приравнять напряженности труда, предположив, что безопасность труда является ограничением. Вопрос о назначении весомостей $B_{мэ}$ и $B_{сэ}$ может быть решен только эвристически.

Они в значительной степени, как и прибыль, будут зависеть от конъюнктуры рынка, многих технических факторов. Отметим, что значимость в значительной мере определяется рыночной и производственной ситуацией. Предложенный метод ее определения относится к некоторому общему случаю, когда нет явно выраженного дефицита денежных средств, оборудования, материалов, рабочей силы, времени, обуславливающего сроки поставки и так далее.

С использованием критериев нулевого уровня был осуществлен предварительный отбор основных критериев при проектировании и эксплуатации блочно-модульного инструмента для тяжелых токарных станков при заданном качестве обработки и обеспечении стабильного стружкодробления. Для этого использовался метод открытой групповой экспертизы с взаимодействием экспертов. Эксперты являлись ведущими специалистами в области проектирования, изготовления и эксплуатации сборного модульного инструмента и тяжелых станков. Перед экспертами ставилась задача определить весомость предложенных критериев, а при необходимости предложить новые критерии. Предусмотрено было также, что веса критериев будут впоследствии использованы при оптимизации по аддитивной свертке критериев.

После второго тура голосования оценки почти по всем критериям оказались согласованными (коэффициент вариации $W < 0.3$). Были отобраны 9 наиболее важных критериев оптимальности, характеризующих технологическую систему: $t_{шт}$ - штучное время (показатель производительности

обработки, час/м²); A - затраты (показатель экономической эффективности обработки с учетом капитальных вложений) грн/м; P_r - прибыль, %; R_c - расход твердого сплава г/м²; $R_{и}$ - расход комплектов инструмента шт/м²; $T\gamma/T$ - надежность модульного инструмента (отношение гамма процентной стойкости к среднему периоду стойкости); T_p - трудоемкость изготовления инструмента час/шт; P_c - вероятность стабильного дробления стружки (безопасность рабочего от поражения стружкой, повреждения модульного инструмента и детали). N_p - напряженность, интенсивность труда рабочих (число логических операций в единицу времени);

Первая группа критериев характеризует результат функционирования технологической системы $t_{шт}$ - количественный, A и P - качественный (экономическая эффективность). Большинство основных критериев характеризуют затраты ресурсов на обеспечение функционирования ТСЧ.

Рассмотрим критерий A и с других позиций. Одним из наиболее полных критериев, традиционно считающихся главным, являются приведенные затраты, значение которых в значительной степени зависит от стоимости станко-часа E . Однако, в зависимости от производственной ситуации, значение стоимости станко-часа E для тяжелых токарных станков может изменяться до 10 - 20 раз. Критерии R_c и $R_{и}$ имеют важное значение, так как твердый сплав и модульный инструмент лимитированы из-за содержания дефицитных компонентов и высокой стоимости.

Необходимость выделения в качестве критерия оптимальности надежности инструмента или всей технологической системы в целом в виде показателя $T\gamma/T$ была обусловлена важностью стабильности обработки на тяжелых станках с ЧПУ, а также при обработке больших поверхностей ответственных деталей. Вместо $T\gamma/T$ можно использовать связанный с ним показатель - коэффициент вариации

стойкости W . Важным критерием с точки зрения стабильности обработки является P_c - вероятность дробления стружки. Этот критерий особо важен для эксплуатации тяжелых станков с ЧПУ, где

предусмотрена автоматизированная уборка стружки. Сводные результаты экспертизы (средняя оценка весомости критериев B ; и коэффициент вариации W) приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Сводные результаты экспертизы

N п.п.	Критерии оптимальности	Весомость критериев	
		С позиции предприятия изготовителя	С позиции предприятия потребителя
1	A	0,13	0,29
2	t_{um}	0,11	0,24
3	R_c	0,11	0,2
4	R_u	0,08	0,11
5	H_p	0,04	0,1
6	$T\gamma/T$	0,11	0,15
7	T_p	0,09	0,11
8	P_c	0,06	0,12
9	P	0,04	0,11

Рассмотрим результаты экспертизы. Для потребителя главными критериями являются затраты и производительность труда, расход твердого сплава.

Для изготовителя главными критериями являются прибыль, а затраты у потребителя имеют ту же трудоемкость изготовления инструмента. Весомость зависит от уровня иерархии системы. Для цеха, если он не выделен в самостоятельную хозяйственную единицу, затраты имеют меньшее значение. Здесь особо проявляется принцип "производительность любой ценой".

По мере перехода к рыночному хозяйству изменения цен на продукцию и услуги также происходит определенное изменение весомостей. Если ранее на первом месте была производительность, то сейчас - затраты. Роль производительности велика только в том случае, когда имеется много заказов. Обращает на себя внимание примерно одинаковая весомость большого числа критериев, например, вероятность стабильного дробления стружки и надежность модульного инструмента. Обобщая результаты экспертизы, можно сделать следующие выводы:

- для обеспечения максимальной экономии при обработке на тяжелых токарных станках необходимо учитывать все критерии, используемые при оптимизации;
- стабильность обработки на тяжелых станках с ЧПУ может быть получена за счет высокой надежности модульного инструмента и вероятности дробления стружки;
- переход к рыночному хозяйству, изменение цен на твердый сплав и инструмент приводят к определенному изменению весомостей. Если ранее на первом месте была производительность, то в настоящее время это затраты.

Выводы. В результате вероятностной оценки объема сечения срезаемого слоя на тяжелых токарных станках и учета технологически обусловленной степени неадекватности использования длины режущей кромки показано, что на этих станках необходимо иметь широкую номенклатуру твердосплавных пластин, а конструкция инструмента должна быть модульной для быстрой смены инструмента в зависимости от величины срезаемого слоя.

Показано, что на тяжелых станках при черновом и получистовом точении, на экономически целесообразных режимах резания, доля поломок по сечению пластины колеблется от 20% до 40% от всех видов отказов. Анализ структуры отказов позволяет наметить конструктивные и технологические мероприятия по повышению прочности и надежности инструмента.

Процесс резания на тяжелых станках, при котором непосредственно обеспечивается заданная форма детали, ее размеры и качество поверхностного слоя, занимает в среднем около половины времени обработки. Располагая статистическими данными о структуре времени обработки, можно определить вероятность нахождения технологической системы в рабочем или нерабочем состоянии.

Показано, что выбор набора критериев зависит от многих факторов, обуславливающих конкретную производственную ситуацию, вида модульного инструмента, задачи решаемой при оптимизации. Набор для оптимизации системы инструмента и технологической системы должен включать 3 группы критериев: технико-экономические, экономические и связанные с человеком (человеческий фактор).

С помощью теории информации, и в частности, с

использованием энтропийной оценки определено рациональное число критериев оптимальности, которое не должно быть более семи, и их эффективность. Для оптимизации параметров технологической системы была проведена экспертная оценка, учитывающая различные условия производства, как с позиции предприятия изготовителя, так и с позиции предприятия потребителя. Приняты следующие группы критериев и функциональных ограничений для условий черновой и получистовой обработки на тяжелых станках - приведенные затраты, производительность, расход твердого сплава, расход комплектов блочно-модульного инструмента, вероятность стабильного дробления стружки.

Список литературы:

1. Грабченко А.И. *Системные принципы создания агрегатно-модульного инструмента и оптимизации рабочего процесса* [Текст] / А.И. Грабченко, Е.В. Мироненко // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. научн. – техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2003. – Вып. 64. – С. 47 – 52.: ил.
2. Кравцов А.Н. *Моделирование технологического обеспечения производственно-технических характеристик блочно-модульных инструментов на основе системной оптимизации* [Текст] / А.Н. Кравцов, Н.В. Кравцов // Проблемы проектирования и автоматизации машиностроительных производств: сборник научных трудов. – Волгоград: ВолгГТУ, Тольятти: Ирбит: ЗАО «ОНИКС», 2013. – 208 с.: ил., табл.; – (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева) (С. 122 – 141).
3. Тисенко В.Н. *Инструментальные средства менеджмента* [Текст] / В.Н. Тисенко [и др.]; Закрытое акционерное об-во «ОНИКС» (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур); – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 217 с.
4. Кравцов А.Н. *Обеспечение эксплуатационных свойств поверхностей деталей с применением функционально-стоимостного анализа при многокритериальной регламентации параметров их поверхностного слоя* [Текст] / А.Н. Кравцов // Проблемы проектирования и автоматизации машиностроительных производств: сборник научных трудов. – Волгоград: ВолгГТУ, Тольятти: Ирбит: ЗАО «ОНИКС», 2013. – 208 с.: ил., табл.; – (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева) (С. 189 – 201).
5. Митрофанов В.Г. *Моделирование и управление движениями формообразования при механической обработке* [Текст] / Митрофанов В.Г. [и др.]; Закрытое акционерное об-во «ОНИКС» (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур); – Ирбит: ОНИКС, 2011 – 239 с. (Сер.: «Автоматизированное проектирование и автоматизация производственных процессов» / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева)
6. Кравцов А.Н. *Обеспечение эксплуатационных свойств поверхностей деталей с применением функционально-стоимостного анализа при многокритериальной регламентации параметров их поверхностного слоя* [Текст] / А.Н. Кравцов // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №31, 2012. – 276 с.
7. Крамарь В.А. *Вопросы прикладной математики в проектировании и автоматизации производственных процессов: Учебн. Пособие* [Текст] / В.А. Крамарь, О.И. Драчев, А.Н. Кравцов; Закрытое акционерное об-во «ОНИКС» (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур). – Ирбит: Оникс, 2011. – 176 с.
8. Кравцов А.Н. *Эксплуатационные свойства поверхностей деталей блочно-модульных токарных резцов и их обеспечение* [Текст] / А.Н. Кравцов // Вестник НТУУ «Киевский
- 9.

Блочно-модульный принцип построения компоновки инструмента наиболее эффективен для тяжелых токарных станков, где в основном применяются инструменты, имеющие большие габариты $H \times B \times L = 80 \times 80 \times 1000$ мм и массу более 15 кг, что делает трудоемким смену и переналадку инструмента на новую операцию. Блочно-модульный принцип компоновки, с относительно ограниченным комплектом модулей, позволяет создавать без серьезных дополнительных затрат широкую номенклатуру систем инструмента, наиболее приспособленных к конкретным требованиям производства

10. Кравцов Н.В. *Комплексные параметры состояния поверхностей деталей блочно-модульных токарных резцов* [Текст] / Н.В. Кравцов, А.Н. Кравцов // Журнал «Омский научный вестник». Серия: Приборы, машины и технологии. № 3 (113). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012 (с. 162 – 166).
11. Кравцов А.Н. *Обеспечение эксплуатационных свойств поверхностей деталей при изготовлении* [Текст] / А.Н. Кравцов, Н.В. Кравцов; Закрытое акционерное об-во «ОНИКС» (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур) – Ирбит: ОНИКС, 2011. – 267 с.
12. Кравцов А.Н. *Геометрическое моделирование взаимосвязи эксплуатационных свойств поверхностей деталей блочно-модульных токарных резцов с их показателями качества при помощи теории графов* [Текст] / А.Н. Кравцов // Журнал "Вектор науки ТГУ". № 3 (21), 2012 (с. 89 – 93).
13. Кравцов А.Н. *Обеспечение эксплуатационных свойств поверхностей деталей блочно-модульных токарных резцов* [Текст] / А.Н. Кравцов // Журнал "Вектор науки ТГУ". № 2 (20), 2012 (с. 33 – 37).
14. Кравцов А.Н. *Моделирование технологического обеспечения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин* [Текст] / А.Н. Кравцов, Н.В. Кравцов; науч. ред. О.И. Драчев; Закрытое акционерное об-во «ОНИКС» (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур) – Изд. 2-е, испр., перераб. и доп. – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 293 с.: ил., табл.; – (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю.М. Соломенцев).

References (transliterated)

1. Grabchenko A.I. *Sistemny`e principy` sozdaniya agregatno-modul'nogo instrumenta i optimizacii` rabocheho proczessha* [Tekst] / A.I. Grabchenko, E.V. Mironenko // Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh. – Mezhd. nauchn. – tekhn. sbornik. – Khar'kov: NTU «KhPI». 2003. – Vy`p. 64. – S. 47 – 52.: il.
2. Kravczov A.N. *Modelirovanie tekhnologicheskogo obespecheniya proizvodstvenno-tekhnicheskikh kharakteristik` blochno-modul'ny`kh instrumentov na osnove sistennoj optimizacii`* [Tekst] / A.N. Kravczov, N.V. Kravczov // Problemy` proektirovaniya i avtomatizacii` mashinostroitel'ny`kh proizvodstv: sbornik nauchny`kh trudov. – Volgograd: VolgGTU, Tol'yatti: Irbit: ZAO «ONIKS», 2013. – 208 s.: il., tabl.; – (Seriya: Upravlenie kachestvom tekhnologicheskikh proczessov v mashinostroenii / Pod obshh. red. Yu.M. Solomenczeva) (S. 122 – 141).
3. Tisenko V.N. *Instrumental'ny`e sredstva menedzhmenta* [Tekst] / V.N. Tisenko [i dr.]; Zakry'toe akczionerhoe ob-vo "ONIKS" (Ob-nie nauch., inzhenerny`kh i kommercheskikh struktur); – Tol'yatti: ZAO «ONIKS», 2012 – 217 s.
4. Kravczov A.N. *Obespechenie e`kspluataczionny`kh svojstv poverkhnostej detalej s primeneniem funkczional'no-stoimostnogo analiza pri mnogokriterial'noj` reglamentaczii` parametrov ikh poverkhnostnogo sloya* [Tekst] / A.N. Kravczov // Problemy` proektirovaniya i avtomatizacii` mashinostroitel'ny`kh proizvodstv:

- sbornik nauchnykh trudov. – Volgograd: VolgGTU, Tol'yatti: Irbit: ZAO «ONIKS», 2013. – 208 s.: il., tabl.; – (Seriya: Upravlenie kachestvom tekhnologicheskikh protsessov v mashinostroenii / Pod obshh. red. Yu.M. Solomenczeva) (S. 189 – 201).
5. Mitrofanov V.G. *Modelirovanie i upravlenie dvizheniyami formoobrazovaniya pri mekhanicheskoy obrabotke* [Tekst] / Mitrofanov V.G. [i dr.]; Zakry'toe akcionernoe ob-vo "ONIKS" (Ob-nie nauch., inzhenerny'kh i kommercheskikh struktur); – Irbit: ONIKS, 2011 – 239 s. (Ser.: «Avtomatizirovanoe proektirovanie i avtomatizaciya proizvodstvenny'kh protsessov» / Pod obshh. red. Yu.M. Solomenczeva)
 6. Kravczov A.N. *Obespechenie e'kspluatatsionny'kh svojstv poverkhnostej detalej s primeneniem funkczional'no-stoimostnogo analiza pri mnogokriterial'noj reglamentacii parametrov ikh poverkhnostnogo sloya* [Tekst] / A.N. Kravczov // Nadezhnost' instrumenta i optimizaciya tekhnologicheskikh sistem. Sbornik nauchny'kh trudov. – Kramatorsk, vy`p. #31, 2012. – 276 s.
 7. Kramar` V.A. *Voprosy` prikladnoj matematiki v proektirovanii i avtomatizacii proizvodstvenny'kh protsessov: Uchebn. Posobie* [Tekst] / V.A. Kramar`, O.I. Drachyov, A.N. Kravczov; Zakry'toe akcionernoe ob-vo "ONIKS" (Ob-nie nauch., inzhenerny'kh i kommercheskikh struktur). – Irbit: Oniks, 2011. – 176 s.
 8. Kravczov A.N. *E'kspluatatsionny'e svojstva poverkhnostej detalej blochno-modul'ny'kh tokarny'kh rezczov i ikh obespechenie* [Tekst] / A.N. Kravczov // Vestnik NTUU «Kievskij politekhnicheskij institut»: Mashinostroenie. # 66, 2012 (s. 56 – 62).
 9. Kravczov N.V. *Kompleksny'e parametry` sostoyaniya poverkhnostej detalej blochno-modul'ny'kh tokarny'kh rezczov* [Tekst] / N.V. Kravczov, A.N. Kravczov // Zhurnal «Omskij nauchny'j vestnik». Seriya: Pribory, mashiny i tekhnologii. # 3 (113). – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2012 (s. 162 – 166).
 10. Kravczov A.N. *Obespechenie e'kspluatatsionny'kh svojstv poverkhnostej detalej pri izgotovlenii* [Tekst] / A.N. Kravczov, N.V. Kravczov; Zakry'toe akcionernoe ob-vo "ONIKS" (Ob-nie nauch., inzhenerny'kh i kommercheskikh struktur) – Irbit: ONIKS, 2011. – 267 s.
 11. Kravczov A.N. *Geometricheskoe modelirovanie vzaimosvyazi e'kspluatatsionny'kh svojstv poverkhnostej detalej blochno-modul'ny'kh tokarny'kh rezczov s ikh pokazatelyami kachestva pri pomoshhi teorii grafov* [Tekst] / A.N. Kravczov // Zhurnal "Vektor nauki TGU". # 3 (21), 2012 (s. 89 – 93).
 12. Kravczov A.N. *Obespechenie e'kspluatatsionny'kh svojstv poverkhnostej detalej blochno-modul'ny'kh tokarny'kh rezczov* [Tekst] / A.N. Kravczov // Zhurnal "Vektor nauki TGU". # 2 (20), 2012 (s. 33 – 37).
 13. Kravczov A.N. *Modelirovanie tekhnologicheskogo obespecheniya e'kspluatatsionny'kh svojstv poverkhnostej detalej mashin* [Tekst] / A.N. Kravczov, N.V. Kravczov; nauch. red. O.I. Drachev; Zakry'toe akcionernoe ob-vo "ONIKS" (Ob-nie nauch., inzhenerny'kh i kommercheskikh struktur) – Izd. 2–e, ispr., pererab. i dop. – Tol'yatti: ZAO "ONIKS", 2012 – 293 s.: il., tabl.; – (Seriya: Upravlenie kachestvom tekhnologicheskikh protsessov v mashinostroenii / obshh. red. Yu.M. Solomenczev)

Поступила (received) 02.05.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Клименко Галина Петрівна (Клименко Галина Петровна, Klímenko Galina Petrovna) – завід. кафедри, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації виробничих процесів, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, тел.: (050) 219 8511; Email: msi@dgma.donetsk.ua;

Мироненко Євген Васильович (Мироненко Евгений Васильевич, Mironenko Evgeny Vasilyevich) – декан, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, тел.: (050) -604-4967; e-mail: evgeny.mironenko@dgma.donetsk.ua;

Фадеев Валерій Андрійович (Фадеев Валерий Андреевич, Fadeev Valery Andreevich) – доктор технічних наук, професор кафедри технологія машинобудування та металорізальні верстати Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м. Харків, тел.: (067) 570-5810;

Заковоротній Олександр Юрійович (Заковоротній Александр Юрьевич, Zakovorotniy Alexander Yuryevich) – доктор технічних наук, професор кафедри обчислювальна техніка та програмування, Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет», м. Харків, тел.: (097) 967-3271;; e-mail: arcade@i.ua;

Ищенко Григорій Іванович (Ищенко Григорий Иванович, Ischenko Grigory Ivanovich) – головний інженер ПАТ «Турбоатом», м. Харків, тел.: +38 (057) 759-96-03