exchange elements of heat exchange equipment and technologies for their manufacture. *Izvestija KazGASU* [KazGASU news], 2013, no 2 (24), pp. 150–156.

7. Shit M. L., Pacjuk V. I., Zhuravljov A. A., Burchu V. I., Timchenko D. V. Control of a heat exchanger with a variable surface area of heat exchange. *Problemy regional'noj jenergetiki*

[Problems of regional energy], 2019, no 1 (39), pp. 90–101.

8. Kanarejkin A. I. Temperature distribution in an elliptical body with an internal heat source under boundary conditions of the first kind. *Vestnik Kaluzhskogo universiteta, serija: estestvennye nauki* [Bulletin of Kaluga University, series: natural sciences], 2020, no 2, 138 p.

УДК 004.89; 621.73

А. В. КОНОВАЛОВ, д-р техн. наук; **С. И. КАНЮКОВ**, **О. Ю. МУЙЗЕМНЕК**, кандидаты техн. наук (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН), г. Екатеринбург)
E-mail: ksi@imach.uran.ru

A. V. Konovalov, **S. I. Kanyukov**, **O. Yu. Muizemnek** (The Institute of Engineering Science, RAS (Ural Branch), Ekaterinburg)

Генетический алгоритм расчета количества подогревов при ковке валов на прессах

A genetic algorithm for estimating preheat numbers for forging shafts on presses

Описана концепция решения неподдающейся формализации задачи расчета количества промежуточных подогревов заготовок в процессековки валов на прессах. На основе сбора и обработки статистических данных выбраны факторы, влияющие на решение задачи, произведена оценка их значимости, построены корреляционная и вероятностная зависимости количества подогревов от массы и числа ступеней поковки. Разработан генетический алгоритм расчета количества промежуточных подогревов заготовок, обладающий свойством автоматической самоподстройки под реальную производственную ситуацию.

The paper describes a concept of solving the problem of calculating the number of intermediate preheats of workpieces during press shaft forging that cannot be formalized. Based on gathering and processing statistical information, factors influencing the problem solution are selected and the significance of selected factors are estimated. Correlative and probabilistic dependences of intermediate preheat number on weight and stage number of the forging are determined. A genetic algorithm for calculating the number of intermediate preheats of workpieces is developed. The algorithm has the property of automatic self-adjustment to the real production situation.

Ключевые слова: технологияковки валов; количество подогревов; генетический алгоритм.

Keywords: shaft forging; number of preheats; genetic algorithm.

Работа выполнена по госзаданию, тема АААА-А18-118020790142-9.

Одним из способов повышения производительности кузнечного производства является применение систем автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов (ТП). Опыт разработки и внедрения САПР технологииковки различных типов поковок на молотах и прессах [1–4] показывает, что в перечне задач, которые необходимо решать в процессе автоматизированного проектирования, немалая доля приходится на трудно формализуемые задачи. При неавтоматизированном способе проектирования эти задачи технологи предприятий обычно решают интуитивно, опираясь на опыт работы и производственные традиции, а разработчики САПР вынуждены закладывать в систему приближенные алгоритмы и предлагать пользователям-технологам вносить свои исправления в полученные решения в режиме диалога. При таком подходе производственный опыт технолога используется системой только в конкретном варианте проектирования и не обобщается на другие варианты. В тоже время сформированная база данных о ранее спроектированных технологических процессах в неявном виде отражает производственный опыт технологов и специфику кузнечного производства конкретного предприятия. Задача состоит в том, чтобы извлекать и использовать эту информацию в новых проектах.

Перспективным при этом представляется применение идей и методов теории генетических алгоритмов [5, 6]. Такой алгоритм основывается на сборе и обработке статистических данных о процессековки, выборе факторов, влияющих на решение задачи, оценки их значимости и построении корреляционных и вероятностных зависимостей решения задачи от значений выбранных

факторов. Эффективность разработки генетических алгоритмов состоит в том, что они допускают на начальной стадии использование приближенных корреляционных и вероятностных соотношений, которые затем по мере эксплуатации системы постепенно уточняются на основе сбора и обработки статистических данных о процессахковки различных поковок.

В институте машиноведения Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург) разработана система автоматизированного проектирования технологииковки на прессах (САПР «ТЕХНОЛОГ») [7], осуществляющая в полном объеме автоматизированное проектирование поковок и технологических процессовковки валов на прессах.

Ковка на прессах, как правило, выполняется с применением нескольких промежуточных подогревов заготовки. При этом, каждый дополнительный подогрев связан с большими временными и материальными затратами, и поэтому для каждой конкретнойковки необходимо определять минимальное количество таких подогревов, достаточное для выполнения операцийковки, обеспечивающих получение качественнойковки. На рис. 1 представлен фрагмент технологической картыковки типа «Вал ротора», спроектированной САПР «ТЕХНОЛОГ».

Как видно из рис. 1, в процессековки вала ротора использовано два подогрева в предварительных операциях и два в основных. Вопрос определения количества подогревов в предварительных операциях достаточно хорошо освещен в литературе [8–10] и обычно затруднений не вызывает. Задача же определения количества подогревов в основных операциях относится к числу задач, не поддающихся формализации.

Рис. 1. Фрагмент технологической картыковки поковки типа «Вал ротора»

Цель данной статьи – разработка концепции и генетического алгоритма решения задачи расчета количества подогревов при выполнении основных операций в процессековки валов на прессах. Для решения поставленной задачи необходимо выбрать параметры поковки, влияющие на это решение, оценить их значимость и установить зависимость количества подогревов от значений этих параметров.

Выбор параметров поковки

Пусть Y – количество подогревов. Анализ реальных технологических картковки показывает, что подогревов либо может

совсем не быть, когда все основные операцииковки выполняются сразу после осадки и протяжки сбиллетированного слитка (см. рис. 1), либо их не более четырех, т. е. $Y \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$.

По физическим соображениям в качестве параметров, возможно влияющих на Y , выбираем массу поковки M , т; габаритную длину поковки L , м; габаритный диаметр поковки D , м; количество ступеней в поковке S . Для построения зависимости $Y = f(M, L, D, S)$ используем аппарат корреляционного анализа, где величину Y называют результативным признаком (результатом), а величины M, L, D, S – факторными признаками

(факторами). Для решения задачи на основе корреляционного анализа необходимо:

- оценить степень влияния (значимость) каждого фактора M, L, D, S на результат Y и из связи $Y = f(M, L, D, S)$ исключить незначимые факторы;
- установить, являются ли оставшиеся факторы взаимно независимыми и, если между двумя какими-либо факторами есть связь, то исключить менее значимый фактор;
- построить зависимость Y от оставшихся факторов и оценить тесноту этой зависимости.

Решение поставленных задач может быть получено на основе сбора и обработки статистических данных. В табл. 1 отражены данные выборки реальных технологических карт ковки валов на прессах, которые разработаны на одном из машиностроительных заводов РФ, а также приведены результаты расчета Y по методикам, описанным ниже.

Значимость каждого фактора M, L, D, S для результата Y при любом виде связи измеряется, как известно, путем вычисления парных индексов корреляции $\eta_{YM}, \eta_{YL}, \eta_{YD}, \eta_{YS} \in [0; 1]$ по формулам, представленным, например, в работе [11]. Чем ближе значение парного индекса корреляции к 1, тем сильнее связь Y с соответствующим фактором.

Для вычисления рассматриваемых парных индексов корреляции область определения каждого фактора M, L, D, S , заданная данными из колонок 2–5 табл. 1, разбивается на k интервалов равной длины. Количество таких интервалов зависит прежде всего от данных выборки и определяется на основе физических представлений о решаемой задаче. В нашем примере принято $k = 5$.

Наблюдаемые значения Y в колонке 6 табл. 1 разбиваются на группы, при этом каждая группа должна содержать значения Y , соответствующие определенному интервалу.

Таблица 1

Данные выборки и результаты расчета Y

№	Данные выборки					Результаты расчета Y	
	M	L	D	S	Y		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	20,15	5,10	1,22	7	1	2	1
2	77,44	14,78	1,24	7	4	3	4
3	12,17	3,03	1,25	4	1	1	1
4	21,61	7,96	0,89	7	1	2	1
5	3,35	5,39	0,56	5	1	1	1
6	29,52	8,45	1,01	5	2	2	1
7	25,88	8,64	0,93	5	2	1	1
8	75,01	13,50	1,21	7	3	3	4
9	8,04	8,92	0,67	5	1	1	1
10	25,34	7,90	0,88	2	0	1	0
11	65,11	13,14	1,17	7	3	3	3
12	8,97	6,64	0,94	5	1	1	1
13	25,95	8,03	0,88	2	0	1	0
14	18,06	6,99	1,09	4	1	1	1
15	83,70	13,40	1,24	7	4	4	4
16	22,95	5,94	0,90	5	1	1	1
17	13,40	17,15	0,35	1	1	0	1
18	40,42	9,72	1,09	5	2	2	2
19	85,20	13,73	1,21	5	3	3	3
20	59,73	11,45	1,17	5	3	2	4
21	7,20	3,34	0,67	4	1	1	1
22	38,11	9,44	1,09	6	2	2	1
23	72,70	12,90	1,17	8	4	3	4
24	19,20	4,99	1,22	7	1	2	1
25	40,42	9,95	1,09	7	2	2	1
26	6,05	3,98	0,53	3	1	0	1
27	60,30	11,98	1,17	5	2	2	2
28	43,19	9,58	1,16	7	2	2	2
29	1,73	1,79	0,61	4	1	0	1
30	40,50	5,65	1,22	5	1	2	1

лу. Может случиться так, что какому-либо интервалу не соответствует ни одно значение Y , в этом случае количество интервалов k следует уменьшать, т. е. увеличивать их длину.

Когда наблюдаемые значения Y разбиваются на группы по какому-либо факторному признаку, то для каждой из этих групп

вычисляются соответствующие групповые средние $\bar{Y}_j, j = 1, 2, \dots, k$. Изменение групповых средних от группы к группе свидетельствует о наличии связи Y с рассматриваемым фактором, а примерное равенство групповых средних – об отсутствии этой связи.

Например, разбиваем область определения фактора $M \in [1,73; 85,2]$ (см. табл. 1, колонка 2) на пять интервалов, и значения Y , соответствующие каждому интервалу, заносим в табл. 2.

Аналогичные действия проводим для факторов L, D, S , после чего рассчитываем значения парных индексов корреляции. В результате получаем: $\eta_{YM} = 0,9$; $\eta_{YL} = 0,81$; $\eta_{YD} = 0,64$; $\eta_{YS} = 0,7$.

По значениям парных индексов корреляции оценка тесноты связи между Y и каждым из факторов M, L, D, S производится по шкале Чеддока [12]. В соответствии с этой шкалой полученные значения парных индексов корреляции говорят о заметной тесноте связей $Y(M), Y(L), Y(D), Y(S)$, следовательно, на данном этапе все выбранные факторы следует признать значимыми.

Следующим шагом является оценка тесноты взаимозависимости факторов M, L, D, S , которая производится аналогично пу-

тем вычисления значений парных индексов корреляции $\eta_{ML}, \eta_{MD}, \eta_{MS}, \eta_{LD}, \eta_{LS}, \eta_{DS}$. Проведенные расчеты показывают, что $\eta_{ML} = 0,87$ и $\eta_{MD} = 0,71$, т. е. между факторами M и L, M и D , согласно шкале Чеддока, существует тесная корреляционная связь, что соответствует физическим представлениям о рассматриваемой предметной области (масса поковки зависит от ее габаритных размеров). А поскольку $\eta_{YM} = 0,9$ больше $\eta_{YL} = 0,81$ и $\eta_{YD} = 0,64$, то факторы L и D из связи $Y(M, L, D, S)$ можно исключить, как менее значимые, а значения $\eta_{LD}, \eta_{LS}, \eta_{DS}$ можно не вычислять, и первоначальная четырехфакторная зависимость $Y(M, L, D, S)$ превращается в двухфакторную $Y(M, S)$.

Расчет парного индекса корреляции η_{MS} показывает, что его значение, определенное по исходной выборке (см. табл. 1), равно 0,59, что формально свидетельствует о том, что между факторами M и S просматривается связь. Однако, понятно, что количество ступеней S в поковке определяется назначением и конструктивными особенностями будущей детали и практически не связано с ее массой, а несколько повышенное значение η_{YS} можно объяснить погрешностями выборки, поэтому будем считать факторы M и S независимыми.

Таблица 2

Группировка значений Y по фактору M

Интервалы M	1,73–18,42	18,42–35,12	35,12–51,81	51,81–68,51	68,51–85,2
Номер интервала j	1	2	3	4	5
Значения Y из выборки	1	0	1	2	3
	1	0	2	3	3
	1	1	2	3	3
	1	1	2	–	4
	1	1	2	–	4
	1	1	–	–	–
	1	2	–	–	–
	1	2	–	–	–
	1	–	–	–	–
$\bar{Y}_j$	1	1	1,8	2,67	3,6

а)

б)

Рис. 2. Корреляционные поля $Y(M)$ (а), $Y(S)$ (б)

Определение корреляционной зависимости $Y(M, S)$

Определение корреляционной зависимости $Y(M, S)$ начинается с установления ее вида. По данным выборки (см. табл. 1) строим корреляционные поля $Y(M)$ и $Y(S)$ (см. рис. 2).

Представленные корреляционные поля с определенной степенью точности можно аппроксимировать линейными зависимостями. Предварительную оценку тесноты линейных зависимостей $Y(M)$, $Y(S)$ получаем путем вычисления парных коэффициентов корреляции r_{YM} и r_{YS} [12]. В нашем случае имеем $r_{YM} = 0,87$, $r_{YS} = 0,64$, что свидетельствует о достаточно тесных линейных связях $Y(M)$, $Y(S)$. Применяем гипотезу о том, что поверхность $Y(M, S)$ описывается плоскостью:

$$Y(M, S) = a_0 + a_1 M + a_2 S.$$

Для проверки принятой гипотезы, т. е. оценки тесноты двухфакторной линейной связи $Y(M, S)$, необходимо рассчитать коэффициент двухфакторной корреляции $r_{Y(M, S)}$, значение которого зависит от значений парных коэффициентов корреляции r_{YM} , r_{YS} , r_{MS} . В результате проведенных расчетов значение $r_{Y(M, S)}$ составляет 0,9, что свидетельствует о значительной тесноте линейной связи $Y(M, S)$. По данным выборки (см. табл. 1) построено уравнение линейной регрессии:

$$Y(M, S) = -0,2219 + 0,0316M + 0,1632S. \quad (1)$$

В колонке 7 табл. 1 представлены значения количества подогревов, рассчитанные по формуле (1) и округленные по правилам математики. Видно, что 13 решений, полученных по формуле (1), дают результаты, не совпадающие с фактическими данными о количестве подогревов, приведенными в колонке 6. Высокий процент расхождений наблюдаемых и расчетных значений количества подогревов можно объяснить тем, что принятая гипотеза о линейной зависимости $Y(M, S)$ является не вполне корректной. В то же время следует отметить, что погрешность в определении значений Y по формуле (1) не превышает ± 1 .

Определение вероятностной зависимости $Y(M, S)$

Определение вероятностной зависимости $Y(M, S)$ заключается в выборе для поковки с конкретными значениями факторов M , S наиболее вероятного решения $Y(M, S) \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$.

В табл. 3 представлены границы изменения значений $[M_{\min}, M_{\max}]$ и $[S_{\min}, S_{\max}]$ факторов из табл. 1 для каждого наблюдаемого значения Y .

Пусть событие A_i состоит в том, что результативный признак Y принимает одно из значений $\{0, 1, 2, 3, 4\}$:

Таблица 3

Границы изменения значений факторов M, S

$Y_{\text{факт}}$	M		S	
	$M_{\min}$	$M_{\max}$	$S_{\min}$	$S_{\max}$
0	25,34	25,95	2	2
1	1,73	40,5	1	7
2	25,88	60,3	5	7
3	59,73	85,2	5	7
4	72,7	83,7	7	8

$$A_i = \{Y = i\}, i = 0, 1, \dots, 4,$$

а события B_j, C_j состоят в том, что значения факторов M, S для конкретной поковки попадают в интервалы $[M_{\min, j}, M_{\max, j}]$ и $[S_{\min, j}, S_{\max, j}]$, соответственно:

$$B_j = \{M_{\min, j} \leq M \leq M_{\max, j}\}, j = 0, 1, \dots, 4;$$

$$C_j = \{S_{\min, j} \leq S \leq S_{\max, j}\}, j = 0, 1, \dots, 4.$$

Для решения поставленной задачи необходимо определить вероятности наступления каждого из событий A_i при условии одновременного наступления событий B_j, C_j :

$$P(Y = A_i | B_j C_j) = ?, i = 0, 1, \dots, 4, j = 0, 1, \dots, 4.$$

Поскольку факторы M и S взаимно независимы, то и события B_j, C_j являются независимыми, поэтому определить вероятность $P(A_i | B_j C_j)$ можно по известной формуле Байеса для независимых событий [13], для использования которой достаточно знать следующие вероятности: $P(A_i)$ – вероятность наступления события $A_i = \{Y = i\}$, которая определяется как отно-

шение частоты наступления этого события в выборке (см. табл. 1) к общему объему выборки. Например, $P(Y = 1) = 14/30 = 0,47$; $P(B_j | A_i)$ – вероятность наступления события $B_j = \{M_{\min, j} \leq M \leq M_{\max, j}\}$ при условии наступления события $A_i = \{Y = i\}$, которая определяется как отношение частоты наступления этого события (при наступлении A_i) к общей частоте наступления события B_j в выборке. Например, $P(B_1 | A_1) = 14/21 = 0,67$; $P(C_j | A_i)$ – вероятность наступления события $C_j = \{S_{\min, j} \leq S \leq S_{\max, j}\}$ при условии наступления события $A_i = \{Y = i\}$, которая определяется аналогично $P(B_j | A_i)$.

После проведения несложных расчетов находим правило определения количества выносов Y в зависимости от значений факторов M, S , которое отражено в табл. 4 и интерпретируется следующим образом.

Для определения количества подогревов Y для поковки с конкретными значениями факторов M, S необходимо:

1. В колонках 2, 3 табл. 4 выбрать все строки, для которых выполняется условие

$$M \in [M_{\min, j}, M_{\max, j}] \cap S \in [S_{\min, j}, S_{\max, j}],$$

$j = 0, 1, \dots, 4$.

2. Для выбранных строк в колонках 4–8 табл. 4 выбрать столбец, в котором содержится максимальное значение $P(Y = A_i | B_j C_j)$. Например, для поковки с параметрами $M = 29,52, S = 5$ выбраны строки $j = 1$ и $j = 2$ и 5-й столбец, как содержа-

Таблица 4

Правило определения количества подогревов $Y(M, S)$

j	События B_j	События C_j	$P(Y = A_i B_j C_j), i = 0, 1, \dots, 4$				
			$Y = 0$	$Y = 1$	$Y = 2$	$Y = 3$	$Y = 4$
1	2	3	4	5	6	7	8
0	$25,34 \leq M \leq 25,95$	$2 \leq S \leq 2$	0,990	0,000	0,000	0,000	0,000
1	$1,73 \leq M \leq 40,5$	$1 \leq S \leq 7$	0,010	0,894	0,173	0,000	0,000
2	$25,88 \leq M \leq 60,3$	$5 \leq S \leq 7$	0,000	0,106	0,702	0,116	0,000
3	$59,73 \leq M \leq 85,2$	$5 \leq S \leq 7$	0,000	0,000	0,125	0,580	0,137
4	$72,7 \leq M \leq 83,7$	$7 \leq S \leq 8$	0,000	0,000	0,000	0,304	0,863

щий максимальное значение вероятности $P(Y = A_i \setminus B_j C_j) = 0,894$, т. е. решением задачи является $Y = 1$.

Табл. 4 отражает вероятностную зависимость $Y(M, S)$. В результате проверки этой зависимости из 30 решений (см. табл. 1) только 6 решений, полученных по табл. 4, дают результаты, не совпадающие с исходной выборкой (см. табл. 1, колонка 8), причем погрешность в определении значений Y также не превышает ± 1 . Таким образом, количество расхождений уменьшается вдвое, следовательно, представленная в табл. 4 вероятностная зависимость $Y(M, S)$ обеспечивает более точное решение поставленной задачи по сравнению с корреляционной зависимостью (1).

Следует отметить, что данная вероятностная зависимость $Y(M, S)$ не всегда позволяет найти решение поставленной задачи, так как могут встретиться поковки с такими параметрами M, S (например, $M = 50$,

$S = 4$), которые не позволят решить задачу с помощью табл. 4. Это объясняется недостаточным объемом исходной выборки в табл. 1 и в этом случае следует использовать формулу (1).

Генетический алгоритм расчета количества подогревов Y

Пусть исходная выборка (см. табл. 1) сформирована. Логическая схема генетического алгоритма расчета количества подогревов Y для вновь поступившей в САПР «ТЕХНОЛОГ» поковки с параметрами M, S отражена на рис. 3.

Таким образом, статистический материал о количестве подогревов в технологических процессахковки будет накапливаться по мере эксплуатации системы, а коэффициенты линейного уравнения регрессии (1) и данные табл. 3, 4 постоянно уточняться.

Рис. 3. Логическая схема генетического алгоритма расчета количества подогревов Y

Выводы. 1. Разработана концепция решения неформализованной задачи расчета количества подогревов при проектировании основных операций ковки валов на прессах.

2. Выбраны факторы, влияющие на решение задачи, произведена оценка их значимости, установлены корреляционная и вероятностная зависимости количества подогревов от массы и количества ступеней поковки, и дана оценка качества установленных зависимостей.

3. Разработан генетический алгоритм решения поставленной задачи, который обладает свойством автоматической самонастройки на реальную производственную ситуацию на базе накопления статистической информации в процессе эксплуатации САПР ТП.

4. Предложенная концепция может быть использована при разработке САПР ТП в других предметных областях.

Список литературы

1. Возмищев Н. Е. Опыт разработки и внедрения САПР ТП заготовительного производства // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2015. № 3. С. 43–45.

2. Островерх А. И., Сычев В. Н., Лобов Е. Д., Грешилов В. М. и др. Единая отраслевая система автоматизированного проектирования технологических процессов кузнечнопрессового производства // Материалы VI-й международной конференции и выставки «CAD/CAM/PDM-2006». Под ред. Артамонова Е. И. М.: ИНЭК. 2006 г.

3. Подзор Н. В. Обзор САПР программы СПРУТ-ТП // Сборник статей международной научно-практической конференции «Инновационные механизмы решения проблем научного развития» в 4 частях. Под ред. Сукиасян А. А. Уфа. 2016. Ч. 3. С. 88–90.

4. Коновалов А. В., Арзамасцев С. В., Шалягин С. Д., Муйземнек О. Ю., Гагарин П. Ю. Интеллектуальная САПР технологических процессов ковки валов на молотах // Заготовитель-

ные производства в машиностроении. 2010. № 1. С. 20–23.

5. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 432 с.

6. Luque G., Alba E. Parallel Genetic Algorithms. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2011. 367 p.

7. Канюков С. И., Коновалов А. В., Муйземнек О. Ю., Халевицкий Ю. В., Партин А. С. Основные принципы построения системы автоматизированного проектирования технологии ковки на прессах // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2017. № 3.

8. Тарновский И. Я., Трубин В. Н., Златкин М. Г. Свободная ковка на прессах. М.: Машиностроение. 1967. 328 с.

9. Трубин В. Н., Макаров В. И., Орлов С. Н. и др. Система управления качеством проектирования технологических процессов ковки. М.: Машиностроение. 1984. 184 с.

10. Атрошенко А. П., Федоров В. И. Металлосберегающие технологии кузнечно-штамповочного производства. Л.: Машиностроение. 1990. 279 с.

11. Ииханян М. В., Карпенко Н. В. Эконометрика. Часть 1. Парная регрессия: Уч. пособ. М.: МГУПС(МИИТ). 2016. 117 с.

12. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Юрайт. 2016. 479 с.

13. Макаренко С. И. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие. Ставрополь: СФ МГГУ им. М. А. Шолохова. 2009. 206 с.

References

1. Vozmishchev N. E. Experience in development and implementation of CAD in blanking production. *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii* [Computer-aided design in mechanical engineering], 2015, no 3, pp. 43–45.

2. Ostroverh A. I., Sychev V. N., Lobov E. D., Greshilov V. M. et al. *Edinaja otraslevaya sistema avtomatizirovannogo proektirovanija tehnologicheskikh processov kuznechnopressovogo proizvodstva* [Unified industry-wide system for computer-aided design of technological processes in

forging and press production]. *Materialy VI-j mezhdunarodnoj konferencii i vystavki «CAD/CAM/PDM-2006»*, Moscow, INJeK, 2006.

3. Podzor N. V. Overview of the OCTOPUS-TP CAD program. *Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Innovacionnye mehanizmy reshenija problem nauchnogo razvitija»* [Innovative mechanisms for solving problems of scientific development], Ufa, 2016, part 3, pp. 88–90.

4. Konovalov A. V., Arzamastsev S. V., Shalyagin S. D., Muzyemnek O. Yu., Gagarin P. Yu. Intelligent automated designing systems of technological processes of shaft forging on hammers. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii* [Blanking productions in mechanical engineering], 2010, no 1, pp. 20–23.

5. Emel'janov V. V., Kurejchik V. V., Kurejchik V. M. *Teorija i praktika jevoljucionnogo modelirovanija* [Theory and practice of evolutionary modeling]. Moscow, FIZMATLIT, 2003, 432 p.

6. Luque G., Alba E. *Parallel Genetic Algorithms*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, 367 p.

7. Kanyukov S. I., Konovalov A. V., Muizemnek O. Yu., Halevickij Yu. V., Partin A. S. Main principles of computer-aided design of forging technology on presses. *Programmnye produkty, siste-*

my i algoritmy [Software, systems & algorithms], no 3, 2017.

8. Tarnovskij I. Ja., Trubin V. N., Zlatkin M. G. *Svobodnaja kovka na pressah* [Free forging on presses]. Moscow, Mashinostroenie, 1967, 328 p.

9. Trubin V. N., Makarov V. I., Orlov S. N. et al. *Sistema upravleniya kachestvom proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov kovki* [The quality management system of designing of technological processes of forging]. Moscow, Mashinostroenie, 1984, 184 p.

10. Atroshenko A. P., Fedorov V. I. *Metallosberegajushhie tehnologii kuznechno-shtampovohnogo proizvodstva* [Metal-saving technologies of forging and stamping production]. Leningrad, Mashinostroenie, 1990, 279 p.

11. Ishhanjan M. V., Karpenko N. V. *Jekonometrika. Chast' 1. Parnaja regressija* [Econometrics. Part 1. Pair regression]. Moscow, MGUPS(MIIT), 2016, 117 p.

12. Gmurman V. E. *Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Jurajt, 2016, 479 p.

13. Makarenko S. I. *Intellektual'nye informacionnye sistemy* [Intelligent information system]. Stavropol: SF MGGU named M. A. Sholohova, 2009, 206 p.

Вниманию подписчиков!

Обращаем Ваше внимание на то, что с начала 2010 года издается журнал под названием «Кузнечно-штамповочное производство», выпускаемый неким Жарковым В.А. и не имеющий никакого отношения к нашему журналу «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением».

Использование Жарковым В.А. для своего издания первой части названия журнала «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением» вводит в заблуждение наших подписчиков. Журнал, издаваемый Жарковым В.А., имеет совершенно другую тематическую направленность, он не входит в перечень ВАКа и по сути является сборником трудов самого Жаркова В.А.