

## УДК 338.4

**Г.М. Журавлев**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет (Тула, Россия) (e-mail: mcgeen4@gmail.com)

**А.Е. Гвоздев**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого» (Тула, Россия) (e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru)

**С.В. Сапожников**, гл. специалист, ООО «Тулачермет-сталь» (Тула, Россия) (e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru)

**С.Н. Кутепов**, канд. пед. наук, ФГБОУ ВПО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого» (Тула, Россия) (e-mail: kutepov.serгей@mail.ru)

**Е.В. Агеев**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ageev\_ev@mail.ru)

### ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

*Разработка методов регистрации, описания и анализа статистических экспериментальных данных, получаемых в результате наблюдения массовых случайных явлений, составляет предмет специальной науки - математической статистики.*

*Все задачи математической статистики касаются вопросов обработки наблюдений над массовыми случайными явлениями, но в зависимости от характера решаемого практического вопроса и от объема имеющегося экспериментального материала эти задачи могут принимать ту или иную форму.*

*Одной из основных задач математической статистики является разработка методов изучения массовых явлений или процессов на основе сравнительно небольшого количества наблюдений или опытов. Эти методы имеют свое научное обоснование, свою теорию, которая носит название теории выборок.*

*Целью данной работы является построение математических моделей влияния различных факторов на единичное число с использованием методики планирования многофакторного эксперимента, и использование их результатов в назначении режимов технологических операций.*

*Для исследования процессов неполной горячей деформации используется сложная вязкопластическая модель среды, механические свойства которой характеризуются пределом текучести и коэффициентом вязкости. Предел текучести зависит от температуры и скорости деформации.*

*Исходя из этого, была проведена обработка экспериментальных данных по методике планирования многофакторного эксперимента и статистической обработки опытных данных по определению предела текучести в зависимости от температуры и скорости деформации стали У12А.*

*Из анализа полученного уравнения регрессии можно сделать вывод, что наиболее сильно удельная сила зависит от температуры.*

*Полученные уравнения регрессии математически описывают взаимное влияние технологических факторов на условный предел текучести и удельную силу, кроме того, они позволяют правильно задавать технологические режимы обработки, обеспечивающие получение изделий требуемого качества.*

**Ключевые слова:** управление качеством выпускаемой продукции, статистическая обработка экспериментальных данных, методика планирования многофакторного эксперимента.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2017-21-5-78-92

**Ссылка для цитирования:** Принятие решений по статистическим моделям в управлении качеством продукции / Г.М. Журавлев, А.Е. Гвоздев, С.В. Сапожников, С.Н. Кутепов, Е.В. Агеев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 5(74). С. 78-92.

\*\*\*

Управление качеством продукции в производстве осуществляется на базе системы непрерывных приемо-сдаточных испытаний, которая предусматривает совмещение статистического регулирования технологического процесса и не-

прерывную сдачу продукции заказчику. При регулировании технологического процесса очень важным является знание требуемых технологических режимов обработки, которые являются главным фактором, обеспечивающим качество выпускаемой продукции.

Статистическое регулирование технологического процесса включает в себя:

- динамический отбор выборок из потока продукции;
- контроль параметров изделий в выборке;
- фиксирование результатов контроля в контрольной карте;
- сравнение результатов контроля с контрольными нормативами;
- выработку управляющего решения;
- реализацию предусмотренного этим решением управляющего воздействия.

В основе всех этих характеристик лежит опыт исследования случайных явлений, выполняемого методами теории вероятностей, прямо или косвенно опирается на экспериментальные данные.

Разработка методов регистрации, описания и анализа статистических экспериментальных данных, получаемых в результате наблюдения массовых случайных явлений, составляет предмет специальной науки - математической статистики.

Все задачи математической статистики касаются вопросов обработки наблюдений над массовыми случайными явлениями, но в зависимости от характера решаемого практического вопроса и от объема имеющегося экспериментального материала эти задачи могут принимать ту или иную форму.

Статистическое регулирование технологического процесса осуществляется в соответствии с методом учета дефектов. Определяется период отбора выборок, объем выборок. Закономерности, наблюдаемые в массовых случайных явлениях, проявляются тем точнее и отчетливее, чем больше объем статистического материала. При обработке обширных по сво-

ему объему статистических данных часто возникает вопрос об определении законов распределения тех или иных случайных величин. Теоретически при достаточном количестве опытов свойства случайных величин и закономерности их проявления будут осуществляться сколь угодно точно. На практике всегда приходится иметь дело с ограниченным количеством опытов, в связи с этим результаты наблюдений и их обработки всегда будут содержать элемент случайности в большей или меньшей степени. Возникает вопрос о том, какие черты наблюдаемого явления относятся к постоянным, устойчивым и действительно присущим ему, а какие являются случайными и проявляются в данной серии наблюдений только за счет ограниченного объема экспериментальных данных. Естественно, к методике обработки экспериментальных данных следует предъявить такие требования, чтобы она, по возможности, сохраняла типичные, характерные черты наблюдаемого явления и отбрасывало все несущественное, второстепенное, связанное с недостаточным объемом опытного материала. В связи с этим возникает характерная для математической статистики задача сглаживания или выравнивания статистических данных, представления их в наиболее компактном виде с помощью простых аналитических зависимостей.

Одной из основных задач математической статистики является разработка методов изучения массовых явлений или процессов на основе сравнительно небольшого количества наблюдений или опытов. Эти методы имеют свое научное обоснование, свою теорию, которая носит название теории выборок.

Целью данной работы является построение математических моделей влия-

ния различных факторов на единичное число с использованием методики планирования многофакторного эксперимента, и использование их результатов в назначении режимов технологических операций.

Например, проведение экспериментальных исследований влияния технологических факторов на формирование механических свойств материала – предел текучести, осуществлялось с использованием многофакторной схемы, когда эффект влияния каждого фактора оценивается по результатам всех опытов. Многофакторный эксперимент имеет преимущество перед однофакторным (изменение одного фактора при остальных постоянных) в получении более точных результатов [1].

Для исследования процессов неполной горячей деформации используется сложная вязкопластическая модель среды, механические свойства которой характеризуются пределом текучести и коэффициентом вязкости. Предел текучести зависит от температуры и скорости деформации.

Исходя из этого, была проведена обработка экспериментальных данных по методике планирования многофакторного эксперимента и статистической обработки опытных данных по определению предела текучести в зависимости от температуры и скорости деформации стали У12А.

В качестве независимых переменных (факторов) были приняты следующие величины:  $X_1$  – скорость деформации,  $\dot{\epsilon}_i$ ;  $X_2$  – температура деформации,  $T$  °С.

Для описания процесса принят ортогональный план 1 порядка, предназначенный оценивать неизвестные параметры модели (при  $n = 2$ ).

$$Y = a_0 + a_1 \times x_1 + a_2 \times x_2 + a_{12} \times x_1 \times x_2.$$

Используем полный факторный эксперимент типа  $S^2$ .

При установлении области определения факторов учитывались технологические особенности неполного горячего выдавливания. Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни	Факторы	
	$X_1$	$X_2$
	$\dot{\epsilon}_i, c^{-1}$	$T, ^\circ C$
-1	62	600
0	124	700
+1	186	800

Кодированное значение факторов ( $x_i$ ) связано с натуральным значением факторов соотношением:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i},$$

где  $x_i$  – кодированное значение;  $X_i$  – натуральное значение;  $X_{i0}$  – натуральное значение фактора основного уровня;  $\Delta X_i$  – интервал варьирования.

Дальнейшие экспериментальные исследования и статистическая обработка результатов проводились по общепринятой методике, изложенной в работе [2]:

$$x_1 = \frac{\dot{\epsilon}_i - 124}{62}, \quad x_2 = \frac{T - 700}{100}.$$

Вид матрицы для двух факторов представлен в таблице 2.

Таблица 2

N	$X_1$	$X_2$	Y
1	+	+	$Y_1$
2	-	+	$Y_2$
3	+	-	$Y_3$
4	-	-	$Y_4$

Для исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними условиями, опыты рандомизировались по

времени. План эксперимента в натуральном и кодовом масштабе и полученные результаты для определения условного

предела текучести стали У12А приведены в таблице 3.

Таблица 3

№ опыта	Порядок реализации	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	ε <sub>i</sub>	T	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Ȳ	S <sup>2</sup>
1	2	+	+	186	800	197	209	203	72
2	3	-	+	62	800	70	80	75	50
3	4	+	-	186	62	335	349	342	98
4	1	-	-	62	600	198	210	204	72

$$\Sigma S^2 = 292.$$

Дублирование опытов позволило проверить точность проведенных испытаний, определить ошибку эксперимента. Ошибка опыта, или как ее часто называют ошибкой воспроизводимости по параллельным опытам, проверялась по критерию Кохрена [1]:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\Sigma S^2} \leq G_m, \quad (1)$$

где Y<sub>1</sub> – значение в первом опыте; Y<sub>2</sub> – значение во втором опыте; Ȳ – среднее значение опытов; S<sup>2</sup><sub>max</sub> – наибольшая из дисперсий опыта; S<sup>2</sup> – дисперсия опыта,  $S^2 = \frac{(Y_1 - \bar{Y})^2 + (Y_2 - \bar{Y})^2}{n-1}$ ; ΣS<sup>2</sup> – суммарная дисперсия опыта; n=2 – число параллельных опытов; G<sub>m</sub> = G<sub>(0,05...0,999)</sub> = 0,907 – табличное значение критерия Кохрена при 5% - ном уровне значимости.

$$G = \frac{98}{292} = 0,335 \leq G_m.$$

Это значит, что эксперимент воспроизводим.

В дальнейшей обработке результатов в качестве оценки дисперсии шума принимаем

$$S_y^2 = \frac{\Sigma S^2}{N} = \frac{292}{4} = 73, \quad S_y = 8,54;$$

где N – число опытов плана.

Значения коэффициентов регрессии определялись по методу наименьших квадратов:

$$a_0 = \frac{\Sigma \bar{Y}_i}{N}; \quad a_i = \frac{\Sigma \bar{Y}_i \times x_i}{N}; \quad a_{ij} = \frac{\Sigma \bar{Y}_i \times x_i \times x_j}{N}$$

$$a_0 = 206; \quad a_1 = 66,5; \quad a_2 = -67; \quad a_{12} = -2,5.$$

Полученные коэффициенты регрессии оценивались на статическую значимость с помощью t<sub>i</sub> – критерия Стьюдента

$$t_i = \frac{|a_i|}{S_{a_i}^2} \geq t_{\text{табл}}, \quad (2)$$

где S<sup>2</sup><sub>a<sub>i</sub></sub> =  $\frac{S_y^2}{n \times N} = 9,008$  – дисперсия оценок коэффициентов; t<sub>табл</sub> = 2,78 – критерий Стьюдента, взятый из таблиц, в зависимости от уровня значимости и числа степеней свободы.

Принимались только те коэффициенты регрессии, которые удовлетворяют условию |a<sub>i</sub>| ≥ 2,78 × 3,02 = 8,39. Остальные коэффициенты являются статически незначимыми и в модель не включались. В данном случае принимаем a<sub>12</sub> = 0.

Таким образом, получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 206 + 66,5 \times x_1 - 67 \times x_2. \quad (3)$$

Дисперсия неадекватности для полученного уравнения определялась по формуле

$$S_{\text{неад}}^2 = \frac{n \times \sum (\bar{Y}_{\text{рас}} - \bar{Y}_{\text{экс}})^2}{f_2},$$

где  $\bar{Y}_{\text{рас}}$  и  $\bar{Y}_{\text{экс}}$  – значения отклика в опыте, соответственно рассчитанные по уравнению регрессии и определенные экспериментально, приведены в таблице 4;  $f_2 = N - K$  – число степеней свободы;  $K = 3$  – число оставленных коэффициентов, включенных в уравнение.

$$S_{\text{неад}}^2 = 51,3.$$

Адекватность уравнения проверялась с помощью F-критерия (критерия Фишера) [2]:

$$F = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2} = \frac{51,3}{73} = 0,702 \leq F_{\text{табл}},$$

где  $F_{\text{табл}} = 225$  – табличное значение F-критерия для принятого 5%-ного уровня значимости.

Таким образом, поскольку расчетное значение F-критерия не превышает табличное, модель является адекватной.

Таблица 4

N	$\bar{Y}_{\text{рас}}$	$\bar{Y}_{\text{экс}}$	$\bar{Y}_{\text{рас}} - \bar{Y}_{\text{экс}}$	$(\bar{Y}_{\text{рас}} - \bar{Y}_{\text{экс}})^2$
1	205,84	203	2,84	8,06
2	73,1	75	1,9	3,61
3	339,64	342	2,36	5,57
4	206,9	204	2,9	8,41

Анализируя полученные уравнения регрессии, можно сделать вывод, что при высокоскоростном неполном горячем деформировании в данном диапазоне изменений факторов увеличение скорости деформации приводит к повышению предела текучести, а увеличение температуры – к понижению. Уравнения регрессии математически описывают взаимное влияние температуры и скорости деформации на условный предел текучести, что позволяет правильно задавать технологические режимы обработки.

В некоторых случаях описание процессов исследования с помощью линейной модели оказывается неприемлемым, поскольку полученные на ее основе зависимости, проверенные с помощью критерия Фишера, являются неадекватными.

В связи с этим для описания принята полиномиальная модель второго порядка.

Например, ранее проведенными исследованиями установлены четыре наиболее активных фактора, оказывающих существенное влияние на характер процесса неполного горячего выдавливания.

В качестве независимых переменных (факторов) были приняты следующие величины:  $X_1$  – температура деформации,  $T$  °C;  $X_2$  – степень деформации;  $X_3$  – относительная высота заготовки;  $X_4$  – угол конусности торца пуансона. Параметром оптимизации т.е. исследуемой величиной является удельное усилие выдавливания  $Y_1$ .

Локальная область определения факторов была установлена из априорных соображений. Варьирование каждым фактором осуществлялось на двух уровнях. Интервалы варьирования факторов и их значения в натуральном масштабе на основном, верхнем и нижнем уровнях указаны в таблице 5.

Таблица 5

Обозначение факторов	$X_1, T \text{ } ^\circ\text{C}$	$X_2, R$	$X_3 H_0/D_0$	$X_4, \alpha \text{ град}$
Наименование факторов	Температура деформирования	Степень деформации	Относительная высота заготовки	Угол конусности торца пуансона
Область эксперимента				
Основной уровень $x_i$	700	0,52	0,70	150
Интервал варьирования $\Delta x_i$	100	0,10	0,13	30
Верхний уровень $x_i = +1$	800	0,62	0,83	180
Нижний уровень $x_i = -1$	600	0,42	0,57	120

При использовании многочленного полинома в качестве математической модели факторы кодируются и связываются с натуральным значением факторов соотношениями:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i},$$

где  $x_i$  – кодированное значение;  $X_i$  – натуральное значение;  $X_{i0}$  – натуральное значение фактора основного уровня;  $\Delta X_i$  – интервал варьирования.

Дальнейшие экспериментальные исследования и статистическая обработка результатов проводились по общепринятой методике, изложенной в работе [2]:

$$x_1 = \frac{T^\circ\text{C} - 700}{100}; x_2 = \frac{R - 0,52}{0,10};$$

$$x_3 = \frac{H_0/D_0 - 0,70}{0,13}; x_4 = \frac{\alpha - 150}{30}.$$

Для получения возможно более полной информации об изучаемых зависимостях воспользуемся полным факторным экспериментом типа  $B_k$ .

Симметричный композиционный план  $B_k$  состоит из ядра и звездных точек. Эти точки имеют плечи, равные единице. Общее число опытов такого плана  $N = 2^4 + 2 \times 4 = 24$ . В таблице 6 приведен план  $B_k$ , содержащий  $N = 24$ . Точки в кодовом и натуральном масштабах.

Таблица 6

№ опыта	Порядок реализации	Кодовый масштаб				Натуральный масштаб			
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	T	R	$H_0/D_0$	$\alpha$
1	15	+	+	+	+	800	0,62	0,83	180
2	1	+	+	+	-	800	0,62	0,83	120
3	17	+	+	-	+	800	0,62	0,57	180
4	5	+	+	-	-	800	0,62	0,57	120
5	9	+	-	+	+	800	0,42	0,83	180
6	18	+	-	+	-	800	0,42	0,83	120
7	8	+	-	-	+	800	0,42	0,57	180
8	20	+	-	-	-	800	0,42	0,57	120
9	22	-	+	+	+	600	0,62	0,83	180
10	19	-	+	+	-	600	0,62	0,83	120
11	24	-	+	-	+	600	0,62	0,57	180
12	21	-	+	-	-	600	0,62	0,57	120

Окончание табл. 6

№ опыта	Порядок реализации	Кодовый масштаб				Натуральный масштаб			
		$x_1$	$x_1$	$x_1$	$x_1$	T	R	$H_0/D_0$	$\alpha$
13	13	–	–	+	+	600	0,42	0,83	180
14	16	–	–	+	–	600	0,42	0,83	120
15	6	–	–	–	+	600	0,42	0,57	180
16	3	–	–	–	–	600	0,42	0,57	120
17	2	+	0	0	0	800	0,52	0,70	150
18	10	–	0	0	0	600	0,52	0,70	150
19	14	0	+	0	0	700	0,62	0,70	150
20	11	0	–	0	0	700	0,42	0,70	150
21	12	0	0	+	0	700	0,52	0,83	150
22	23	0	0	–	0	700	0,52	0,57	150
23	4	0	0	0	+	700	0,52	0,70	180
24	7	0	0	0	–	700	0,52	0,70	120

В соответствии с выбранным планом с помощью таблиц случайных чисел была выполнена рандомизация во времени 24 опытов. Порядок реализации указан в таблице 6. Каждый опыт повторялся три раза. Математическую модель исследуемого процесса можно выразить следующим уравнением:

$$Y = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{a}_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \hat{a}_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \hat{a}_{ii} x_i^2.$$

Коэффициенты модели после реализации плана рассчитывались по формулам:

$$\begin{aligned} \hat{a}_0 &= \tilde{n}_1 \sum_{u=1}^N y_u - c_2 \sum_{i=1}^k \sum_{i=1}^k x_{iu}^2; \\ \hat{a}_i &= \tilde{n}_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u; \\ \hat{a}_{ij} &= \tilde{n}_4 \sum_{u=1}^N (x_i x_j)_u y_u; \\ \hat{a}_{ii} &= \tilde{n}_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + c_6 \sum_{i=1}^k \sum_{i=1}^k x_{iu}^2 y_u + \tilde{n}_2 \sum_{u=1}^N y_u, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $Y$  – значение параметра оптимизации;  $N$  – число опытов;  $u$  – номер опыта;  $k$  – число факторов;  $i$  – номер фактора;  $j$  – порядковый номер опыта. Вспомогательные константы рассчитаны заранее и для данного плана имеют следующие значения [2]:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_1 &= 0,22917; \quad \tilde{n}_2 = 0,0625; \quad \tilde{n}_3 = 0,05556; \\ \tilde{n}_4 &= 0,0625; \quad \tilde{n}_5 = 0,50; \quad \tilde{n}_6 = -0,1042. \end{aligned}$$

Важнейшей характеристикой статистической обработки эксперимента является дисперсия воспроизводимости исследуемого параметра

$$S_y^2 = \sum_{u=1}^N \sum_{q=1}^n (Y_{ug} - \bar{Y}_u)^2 / N(n-1),$$

где  $Y_{ug}$  – результат  $q$ -го повторения  $u$ -го опыта;  $\bar{Y}_u$  – среднее арифметическое значение всех  $n_u$  – дублей  $u$ -го опыта;  $n$  – число повторений каждого опыта.

Знаменатель данного выражения – число степеней свободы при определении  $S_y^2$  в случае равномерного дублирования.

$$f_1 = N(n-1).$$

Для проверки однородности дисперсии используем критерий Кохрена (1). Ряд дисперсий считается однородным, если расчетное значение критерия меньше табличного.

После расчета коэффициентов регрессии по формулам (4) проверяется гипотеза об их статистической значимости по  $t$  – критерию (Стьюдента), рассчитанному по формуле (2).

Адекватность уравнения проверялась с помощью F-критерия (критерия Фишера) [2].

В соответствии с заданным уровнем факторов при проведении эксперимента неполному горячему выдавливанию было подвергнуто 72 заготовки. По результатам экспериментов и вычисления коэффициентов регрессии получена математическая модель зависимости удельной силы от технологических факторов:

$$Y = 115,82 - 14,92x_1 + 3,07x_3 + 4,20x_4 - 1,14x_1^2 + 0,74x_2^2 - 1,54x_3^2 - 0,34x_4^2.$$

После перехода к натуральным значениям факторов полученная модель имеет вид

$$q_l = 94,40 - 0,0090T - 77,06R + 150,1(H_0 / D_0) + 0,25\alpha - 0,00011T^2 + 74,1R^2 - 91,1(H_0 / D_0)^2 - 0,00037\alpha^2.$$

Проверка уравнения на адекватность и определение доверительного интервала подтвердила адекватность полученной модели и значимость ее коэффициентов.

Из анализа полученного уравнения регрессии можно сделать вывод, что наиболее сильно удельная сила зависит от температуры.

Полученные уравнения регрессии математически описывают взаимное влияние технологических факторов на условный предел текучести и удельную силу, кроме того они позволяют правильно задавать технологические режимы обработки, обеспечивающие получение изделий требуемого качества.

Полученные результаты могут быть использованы при создании ресурсосберегающих и малоотходных технологий обработки металлических материалов с использованием новых наноконпозиционных смазок и покрытий [4-40].

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ по проекту №11.6682.2017/8.9.*

## Список литературы

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.

2. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.

3. Григорович В.Г., Яковлев С.П. Применение математической статистики к теории планирования эксперимента в обработке металлов давлением. Тула: ТПИ, 1980. 80 с.

4. Технология конструкционных и эксплуатационных материалов: учебник / А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, В.И. Золотухин, Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, А.Д. Бреки; под ред. проф. А.Е. Гвоздева. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. 351 с.

5. Триботехнические характеристики композиционных покрытий с матрицей из полигетероарилена ПМ-ДАДФЭ и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама при трении скольжения в среде жидкого смазочного материала / А.Д. Бреки, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, А.Г. Колмаков, Ю.А. Фадин, Н.Е. Стариков, А.Е. Гвоздев, Н.Н. Сергеев, Е.В. Агеев, Д.А. Провоторов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 1 (66). С. 17-28.

6. Триботехнические свойства композиционных покрытий с полиимидными матрицами и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама для узлов трения машин: монография / А.Д. Бреки, В.В. Кудрявцев, А.Л. Диденко, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, Н.Е. Стариков, А.Е. Гвоздев; под ред. А.Д. Бреки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. 128 с.

7. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт автомобиля: учебное пособие / Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев,



А.Н. Сергеев, К.Г. Мирза, Ю.С. Дорохин, Д. М. Хонелидзе. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. 174 с.

8. Основы технологической подготовки: учебное пособие / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, А.Г. Колмаков, А.Д. Бреки, Д.А. Провоторов, В.И. Золотухин Н.Е. Стариков, П.Н. Медведев, Д.В. Малий, Ю.С. Дорохин, Д.Н. Боголюбова, А.А. Калинин, О.В. Кузовлева, К.Н. Старикова, С.Н. Кутепов, Д.М. Хонелидзе, В.В. Новикова; под ред. проф. А.Е. Гвоздева. Изд. 2-е, испр. и доп. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. 187 с.

9. Материаловедение: учебник для вузов / Ф.К. Малыгин, Н.Е. Стариков, А.Е. Гвоздев, В.И. Золотухин, Н.Н. Сергеев, А.Д. Бреки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. 268 с.

10. Триботехнические характеристики жидких смазочных и полиамидных композиционных материалов, содержащих антифрикционные наночастицы дихалькогенидов вольфрама / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Е. Стариков, Н.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов, А.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев; под ред. А.Д. Бреки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. 276 с.

11. Многопараметрическая оптимизация параметров лазерной резки стальных листов / А.Е. Гвоздев, И.В. Голышев, И.В. Минаев, А.Н. Сергеев, Н.Н. Сергеев, И.В. Тихонова, Д.М. Хонелидзе, А.Г. Колмаков // Материаловедение. 2015. № 2. С. 31-36.

12. Синтез и триботехнические свойства композиционных покрытий с матрицей из полиамида ПМ-ДАДФЭ и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама при сухом трении скольжения / А.Д. Бреки, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, А.Г. Колмаков, Ю.А. Фадин, Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Материаловедение. 2015. № 12. С. 36-40.

13. Постановка задачи расчета деформационной повреждаемости металлов и сплавов / Г.М. Журавлев, А.Е. Гвоздев, Н.Н. Сергеев., В.И. Золотухин, Д.А. Провоторов // Производство проката. 2015. № 10. С. 18-26.

14. Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе полигетероарилена «Р-ОДФО» с наполнителем из наночастиц диселенида вольфрама / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Известия ТулГУ. Серия: Технические науки. 2015. Вып.11, ч.1. С. 133-139.

15. Влияние смазочного композиционного материала с наночастицами диселенида вольфрама на трение в подшипниках качения / А.Д. Бреки, В.В. Медведева, Ю.А. Фадин, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Ю.Е. Титова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.11, ч.1. С. 171-180.

16. Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе полигетероарилена «ДАИ» с наполнителем из наночастиц дихалькогенидов вольфрама / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, А.А. Калинин, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.8, ч.2. С. 148-155.

17. Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе полигетероарилена «Р-ОООД» с наполнителем из наночастиц диселенида вольфрама / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.8, ч.2. С. 181-188.

18. Взаимодействие дисперсных компонентов смазочного композиционного материала, содержащего наночастицы дихалькогенидов вольфрама / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.7, ч.1. С. 197-205.

19. Выбор дисперсности наполнителя из частиц дихалькогенидов вольфрама для создания смазочного композиционного материала / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е., Гвоздев Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов, А.А. Калинин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.7, ч.1. С. 235-243.

20. Оценка влияния размера частиц и концентрации порошков горных пород на противоизносные свойства жидких смазочных композиций / В.В. Медведева, М.А. Скотникова, А.Д. Бреки, Н.А. Крылов, Ю.А. Фадин, А.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.11, ч.1. С. 57-65.

21. Влияние смазочного композиционного материала с наночастицами дисульфида вольфрама на трение в подшипниках качения / А.Д. Бреки, В.В. Медведева, Ю.А. Фадин, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.11, ч.1. С. 78-86.

22. Оценка взаимодействия между наночастицами дихалькогенидов вольфрама в среде жидкого смазочного материала / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып.7, ч.2. С. 8-14.

23. Оценка влияния жидкого смазочного композиционного материала с наночастицами геомодификатора на трение в подшипниковом узле / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов, Е.В. Агеев, А.Е. Гвоздев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 3 (16). С. 17-23.

24. Комплексный подход к исследованию экстремальных эффектов в металлических, композиционных и нанокристаллических материалах: коллективная монография / А.Е. Гвоздев, Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов, В.И. Золотухин, А.Д. Бреки, П.Н. Медведев, М.Н. Гаврилин, Г.М. Журавлев, Д.В. Малий, Ю.С. Дорохин, Д.Н. Боголюбова, А.А. Калинин, Д.Н. Романенко, И.В. Минаев, О.В. Кузовлева, Н.Е. Проскураков, А.С. Пустовгар, Ю.Е. Титова, И.В. Тихонова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. 128 с.

25. Триботехнические свойства жидких смазочных композиционных материалов, содержащих полученные методом газофазного синтеза высокодисперсные дисульфид и диселенид вольфрама: монография / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев; под ред. А.Д. Бреки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. 152 с.

26. Жидкие смазочные композиционные материалы, содержащие высокодисперсные наполнители, для подшипниковых узлов управляемых систем: монография / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. 144 с.

27. Механические свойства конструкционных и инструментальных сталей в состоянии предпревращения при термомеханическом воздействии / А.Е. Гвоздев, А.Г. Колмаков, О.В. Кузовлева, Н.Н. Сергеев, И.В. Тихонова // Деформация и разрушение материалов. 2013. № 11. С. 39-42.

28. Гвоздев А.Е., Афанаскин А.В., Гвоздев Е.А. Закономерности проявления сверхпластичности сталей Р6М5 и 10Р6М5-МП // *Металловедение и термическая обработка материалов*. 2002. № 6. С. 32-36.
29. Гвоздев А.Е. Производство заготовок быстрорежущего инструмента в условиях сверхпластичности. М.: Машиностроение, 1992. 176 с.
30. On friction of metallic materials with consideration for superplasticity phenomenon / A.D. Breki, A.E. Gvozdev, A.G. Kolmakov, N.E. Starikov, D.A. Provotorov, N.N. Sergeyev, D.M. Khonelidze // *Inorganic materials: Applied Research*. 2017. Vol. 8, No 1. P. 126-129.
31. Temperature distribution and structure in the heat-affected zone for steel sheets after laser cutting / A.E. Gvozdev, N.N. Sergeyev, I.V. Minayev, A.G. Kolmakov, I.V. Tikhonova, A.N. Sergeyev, D.A. Provotorov, D.M. Khonelidze, D.V. Maliy, I.V. Golyshev // *Inorganic materials: Applied Research*. 2017. Vol. 8, No 1. P. 148-152.
32. Synthesis and dry sliding behavior of composite coating with (R-OOO)FT polyimide matrix and tungsten disulfide nanoparticle filler / A.D. Breki, A.L. Didenko., V.V. Kudryavtsev, E.S. Vasilyeva, O.V. Tolochko, A.G. Kolmakov, A.E. Gvozdev, D.A. Provotorov, N.E. Starikov, Yu.A. Fadin // *Inorganic materials: Applied Research*. 2017. Vol. 8, No 1. P. 32-36.
33. Composite coatings based on A-OOO polyimide and WS<sub>2</sub> nanoparticle filler / A.D. Breki, A.L. Didenko, V.V. Kudryavtsev, E.S. Vasilyeva, O.V. Tolochko, A.E. Gvozdev, N.N. Sergeyev, D.A. Provotorov, N.E. Starikov, Yu.A. Fadin, A.G. Kolmakov // *Inorganic materials: Applied Research*. 2017. Vol. 8, No 1. P. 56–59.
34. Role of nucleation in the of firstorder phase transformations / A.E. Gvozdev, N.N. Sergeyev, I.V. Minayev, A.G. Kolmakov, I.V. Tikhonova // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2015. Vol. 6, No 4. P. 283-288.
35. Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets / A.E. Gvozdev, I.V. Golyshev, I.V. Minayev, A.N. Sergeyev, N.N. Sergeyev, I.V. Tikhonova, D.M. Khonelidze, A.G. Kolmakov // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2015. Vol. 6, No 4. P. 305-310.
36. Features of softening processes of aluminum, copper, and their alloys under hot deformation / A.E. Gvozdev, D.N. Bogolyubova, N.N. Sergeev, A.G. Kolmakov, D.A. Provotorov, I.V. Tikhonova // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2015. Vol. 6, No 1. P. 32-40.
37. Grain size effect of austenite on the kinetics of pearlite transformation in low- and medium-carbon low-alloy steels / A.E. Gvozdev, I.V. Minaev, N.N. Sergeev, A.G., Kolmakov D.A. Provotorov, I.V. Tikhonova // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2015. Vol. 6, No 1. P. 41-44.
38. Размерные характеристики бронзового электроэрозионного порошка, полученного в воде / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, В.Ю. Чаплыгин, А.А. Горохов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 30-35.
39. Рентгеноспектральный микроанализ нихромового порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в среде керосина / Е.В. Агеев, А.А. Горохов, А.Ю. Алтухов, А.В. Щербаков, С.В. Хардииков // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2016. № 1 (64). С. 26-31.
40. Быстрорежущая сталь, диспергированная в керосине / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, Е.А. Воробьев, М.А. Зубарев // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2014. № 5 (56). С. 21-25.

*Поступила в редакцию 24.08.17*

UDC 338.4

**G.M. Zhuravlev**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State University (Tula, Russia) (e-mail: mcgeen4@gmail.com)

**A.E. Gvozdev**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula, Russia) (e-mail: gvozdev.alexandr2013@yandex.ru)

**S.V. Sapozhnikov**, Chief Specialist, LLC "Tulachermet-Steel" (Tula, Russia) (e-mail: gvozdev.alexandr2013@yandex.ru)

**S.N. Kutepov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula, Russia) (e-mail: kutepov.sergei@mail.ru)

**E.V. Ageev**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ageev\_ev@mail.ru)

## DECISIONS ON STATISTICAL MODELS IN QUALITY CONTROL OF PRODUCTS

*Development of methods for registration, description and analysis of statistical experimental data, obtained by monitoring mass random phenomena is the subject of a special science - mathematical statistics.*

*All tasks of mathematical statistics concerns the treatment of observations of mass random phenomena, but depending on the nature of the solved practical question and amount of available experimental material these tasks can take a particular form.*

*One of the main objectives of mathematical statistics is to develop methods of studying mass phenomena or processes on the basis of the relatively small number of observations or experiments. These methods have their scientific justification, his theory, called the theory of samples.*

*The aim of this work is to build mathematical models of influence of various factors on a single number using the method of multifactor experiment planning, and their use results in the appointment of modes of technological operations.*

*To study processes incomplete hot deformation uses a complex viscoplastic model of the environment, the mechanical properties which are characterized by a yield stress and viscosity. The yield strength depends on temperature and strain rate.*

*On this basis, was carried out processing of experimental data by the method of multifactor experiment planning and statistical treatment of experimental data by definition of the yield strength depending on temperature and speed of deformation of steel U12A.*

*From the analysis of the obtained regression equations, we can conclude that the most highly specific force depends on temperature.*

*Regression equations mathematically describe the mutual influence of technological factors on yield strength and specific strength, in addition they allow you to correctly set processing modes that yield products of the required quality.*

**Key words:** *quality management of products, statistical analysis of experimental data, methods of multifactor experiment planning.*

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2017-21-5-78-92

**For citation:** Zhuravlev G.M., Gvozdev A.E., Sapozhnikov S.V., Kutepov S.N., Ageev E.V. Decisions on statistical models in quality control of products. Proceedings of the Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 5(74), pp. 78-92 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij Yu.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnyx uslovij. Moscow, Nauka, 1976. 280 p.

2. Novik F.S., Arsov Ya.B. Optimizaciya processov texnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov. Moscow, Mashinostroenie; Sofiya, Texnika, 1980. 304 p.

3. Grigorovich V.G., Yakovlev S.P. Primenenie matematicheskoy statistiki k teorii planirovaniya eksperimenta v obrabotke metallov davleniem. Tula, TPI, 1980. 80 p.

4. Gvozdev A.E., Starikov N.E., Zolotuxin V.I. etc. Texnologiya konstrukcionnyx i ekspluatacionnyx materialov; ed. by prof. A.E. Gvozdev. Tula, Izd-vo TulGU, 2016. 351 p.

5. Breki A.D., Didenko A.L., Kudryavcev V.V., Vasileva E.S., Tolochko O.V., Kolmakov A.G., Fadin Yu.A., Starikov N.E., Gvozdev A.E., Sergeev N.N., Ageev E.V., Provotorov D.A. Tribotexnicheskie karakteristiki kompozicionnykh pokrytij s matriciej iz poligeteroarilena PM-DADFE i napolnitelyami iz nanochastic dixalkogenidov volframa pri trenii skolzheniya v srede zhidkogo smazochnogo materiala. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 1 (66), pp. 17-28.

6. Breki A.D., Kudryavcev V.V., Didenko A.L., Vasileva E.S., Tolochko O.V., Sergeev N.N., Starikov N.E., Gvozdev A.E. Tribotexnicheskie svojstva kompozicionnykh pokrytij s poliimidnymi matricami i napolnitelyami iz nanochastic dixalkogenidov volframa dlya uzlov treniya mashin; ed. by A.D. Breki. Tula, Izd-vo TulGU, 2015. 128 p.

7. Sergeev N.N., Gvozdev A.E., Sergeev A.N., Mirza K.G., Doroxin Yu.S., Xonelidze D. M. Ekspluatatsiya, texnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobilya. Tula, Izd-vo TulGU, 2015. 174 p.

8. Sergeev N.N., Sergeev A.N., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G., Breki A.D. ets. *Osnovy texnologicheskoy podgotovki*; ed. by prof. A.E. Gvozdev. 2<sup>th</sup> ed. Tula, Izd-vo TulGU, 2015. 187 p.

9. Malygin F.K., Starikov N.E., Gvozdev A.E., Zolotuxin V.I., Sergeev N.N., Breki A.D. *Materialovedenie*. Tula, Izd-vo TulGU, 2015. 268 p.

10. Breki A.D., Vasileva E.S., Tolochko O.V., Starikov N.E., Sergeev N.N., Provotorov D.A., Sergeev A.N., Gvozdev A.E. Tribotexnicheskie karakteristiki zhidkix smazochnykh i poliamidnykh kompozicionnykh materialov, sodержashhix antifrikcionnye nanochasticy dixalkogenidov volframa; ed by A.D. Breki. Tula, Izd-vo TulGU, 2015. 276 p.

11. Gvozdev A.E., Golyshev I.V., Minaev I.V., Sergeev A.N., Sergeev N.N., Tixonova I.V., Xonelidze D.M., Kolma-

kov A.G. Mnogoparametricheskaya optimizatsiya parametrov lazernoj rezki stalnykh listov. *Materialovedenie*, 2015, no. 2, pp. 31-36.

12. Breki A.D., Didenko A.L., Kudryavcev V.V., Vasileva E.S., Tolochko O.V., Kolmakov A.G., Fadin Yu.A., Sergeev N.N., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A. Sintez i tribotexnicheskie svojstva kompozicionnykh pokrytij s matriciej iz poli-amida PM-DADFE i napolnitelyami iz nanochastic dixalkogenidov volframa pri suxom trenii skolzheniya. *Materialovedenie*, 2015, no. 12, pp. 36-40.

13. Zhuravlev G.M., Gvozdev A.E., Sergeev N.N., Zolotuxin V.I., Provotorov D.A. Postanovka zadachi rascheta deformacionnoj povrezhdaemosti metallov i splavov. *Proizvodstvo prokata*, 2015, no. 10, pp. 18-26.

14. Breki A.D., Fadin Yu.A., Didenko A.L., Kudryavcev V.V., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A. Tribotexnicheskie svojstva kompozicionnykh pokrytij na osnove poligeteroarilena "R-ODFO" s napolnitelem iz nanochastic diselenida volframa. *Izvestiya TulGU. Seriya: Texnicheskie nauki*, 2015, vol.11, pt. 1, pp. 133-139.

15. Breki A.D., Medvedeva V.V., Fadin Yu.A., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Sergeev A.N., Provotorov D.A., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Titova Yu.E. Vliyanie smazochnogo kompozicionnogo materiala s nanochasticami diselenida volframa na trenie v podshipnikax kacheniya. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*. 2015, vol.11, pt. 1, pp. 171-180.

16. Breki A.D., Fadin Yu.A., Didenko A.L., Kudryavcev V.V., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Kalinin A.A., Provotorov D.A. Tribotexnicheskie svojstva kompozicionnykh pokrytij na osnove poligeteroarilena "DAI" s napolnitelem iz nanochastic dixalkogenidov volframa. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*, 2015, vol.8, pt. 2, pp. 148-155.

17. Breki A.D., Fadin Yu.A., Didenko A.L., Kudryavcev V.V., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A. Tribotexnicheskie svojstva kompozicionnykh pokrytij na osnove poligeteroarilena "R-OOOD" s napolnitelem iz nanochastic diselenida volframa. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*, 2015, vol. 8, pt. 2, pp. 181-188.

18. Breki A.D., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A. Vzaimodejstvie dispersnykh komponentov smazochnogo kompozicionnogo materiala, soderzhashhego nanochasticy dixalkogenidov volframa. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*, 2015, vol.7, pt. 1, pp. 197-205.

19. Breki A.D., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A., Kalinin A.A. Vybor dispersnosti napolnitelya iz chastic dixalkogenidov volframa dlya sozdaniya smazochnogo kompozicionnogo materiala. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*, 2015, vol. 7, pt. 1, pp. 235-243.

20. Medvedeva V.V., Skotnikova M.A., Breki A.D., Krylov N.A., Fadin Yu.A., Sergeev A.N., Provotorov D.A., Gvozdev A.E., Starikov N.E. Ocenka vliyaniya razmera chastic i koncentracii poroshkov gornyx porod na protivoinnosnye svojstva zhidkix smazochnyx kompozicij. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*, 2015, vol.11, pt. 1, pp. 57-65.

21. Breki A.D., Medvedeva V.V., Fadin Yu.A., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Sergeev A.N., Provotorov D.A., Gvozdev A.E., Starikov N.E. Vliyanie smazochnogo kompozicionnogo materiala s nanochasticami disulfida volframa na trenie v podshipnikax kacheniya. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*, 2015, vol. 11, pt. 1, pp. 78-86.

22. Breki A.D., Tolochko O.V., Vasileva E.S., Gvozdev A.E., Starikov N.E.,

Provotorov D.A. Ocenka vzaimodejstviya mezhdru nanochasticami dixalkogenidov volframa v srede zhidkogo smazochnogo materiala. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki*. 2015, vol.7, pt.2, pp. 8-14.

23. Breki A.D., Tolochko O.V., Starikov N.E., Provotorov D.A., Ageev E.V., Gvozdev A.E. Ocenka vliyaniya zhidkogo smazochnogo kompozicionnogo materiala s nanochasticami geomodifikatora na trenie v podshipnikovom uzle. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tehnika i tehnologii*, 2015, no.3 (16), pp. 17-23.

24. Gvozdev A.E., Sergeev N.N., Sergeev A.N., Provotorov D.A., Zolotuxin V.I., Breki A.D. Kompleksnyj podxod k issledovaniyu ekstremalnykh effektov v metallicheskih, kompozicionnykh i nanokristallicheskih materialax. Tula, Izd-vo TulGU, 2014. 128 p.

25. Vasileva E.S., Tolochko O.V., Sergeev N.N., Gvozdev A.E. Tribotexnicheskie svojstva zhidkix smazochnyx kompozicionnykh materialov, soderzhashhix poluchennye metodom gazofaznogo sinteza vysokodispersnye disulfid i diselenid volframa; ed. by A.D. Breki. Tula, Izd-vo TulGU, 2014. 152 p.

26. Breki A.D., Vasileva E.S., Tolochko O.V., Sergeev N.N., Gvozdev A.E. Zhidkie smazochnye kompozicionnye materialy, soderzhashhie vysokodispersnye napolniteli, dlya podshipnikovyx uzlov upravlyaemyx sistem. Tula, Izd-vo TulGU, 2014. 144 p.

27. Gvozdev A.E., Kolmakov A.G., Kuzovleva O.V., Sergeev N.N., Tixonova I.V. Mexanicheskie svojstva konstrukcionnykh i instrumentalnykh stalej v sostoyanii predprevrashheniya pri termomechanicheskom vozdejstvii. Deformaciya i razrushenie materialov. 2013, no.11, pp. 39-42.

28. Gvozdev A.E., Afanaskin A.V., Gvozdev E.A. Zakonomernosti proyavleniya sverxplastichnosti stalej R6M5 i 10R6M5-MP.

*Metallovedenie i termicheskaya obrabotka materialov*, 2002, no. 6, pp. 32-36.

29. Gvozdev A.E. *Proizvodstvo zagotovok bystrorezhushhego instrumenta v usloviyax sverxplastichnosti*. Moscow, Mashinostroenie, 1992. 176 p.

30. Breki A.D., Gvozdev A.E., Kolmakov A.G., Starikov N.E., Provotorov D.A., Sergeyev N.N., Khonelidze D.M. On friction of metallic materials with consideration for superplasticity phenomenon. *Inorganic materials: Applied Research*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 126-129.

31. Gvozdev A.E., Sergeyev N.N., Minayev I.V., Kolmakov A.G., Tikhonova I.V., Sergeyev A.N., Provotorov D.A., Khonelidze D.M., Maliy D.V., Golyshev I.V. Temperature distribution and structure in the heat-affected zone for steel sheets after laser cutting. *Inorganic materials: Applied Research*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 148-152.

32. Breki A.D., Didenko A.L., Kudryavtsev V.V., Vasilyeva E.S., Tolochko O.V., Kolmakov A.G., Gvozdev A.E., Provotorov D.A., Starikov N.E., Fadin Yu.A. Synthesis and dry sliding behavior of composite coating with (R-OOO)FT polyimide matrix and tungsten disulfide nanoparticle filler. *Inorganic materials: Applied Research*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 32-36.

33. Breki A.D., Didenko A.L., Kudryavtsev V.V., Vasilyeva E.S., Tolochko O.V., Gvozdev A.E., Sergeyev N.N., Provotorov D.A., Starikov N.E., Fadin Yu.A., Kolmakov A.G. Composite coatings based on A-OOO polyimide and WS<sub>2</sub> nanoparticle filler. *Inorganic materials: Applied Research*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 56-59.

34. Gvozdev A.E., Sergeyev N.N., Minayev I.V., Kolmakov A.G., Tikhonova I.V. Role of nucleation in the of first-order phase transformations. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2015, vol. 6, no. 4, pp. 283-288.

35. Gvozdev A.E., Golyshev I.V., Minayev I.V., Sergeyev A.N., Sergeyev N.N., Tikhonova I.V., Khonelidze D.M., Kolmakov A.G. Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2015, vol. 6, no. 4, pp. 305-310.

36. Gvozdev A.E., Bogolyubova D.N., Sergeyev N.N., Kolmakov A.G., Provotorov D.A., Tikhonova I.V. Features of softening processes of aluminum, copper, and their alloys under hot deformation. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2015, vol. 6, no. 1, pp. 32-40.

37. Gvozdev A.E., Minaev I.V., Sergeyev N.N., Kolmakov A.G., Provotorov D.A., Tikhonova I.V. Grain size effect of austenite on the kinetics of pearlite transformation in low-and medium-carbon low-alloy steels. *Inorganic Materials: Applied Research*, 2015, vol. 6, no. 1, pp. 41-44.

38. Ageeva E.V., Ageev E.V., Chaplygin V.Yu., Goroxov A.A. Razmernye karakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tehnika i tehnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35.

39. Ageev E.V., Goroxov A.A., Altuxov A.Yu., Shherbakov A.V., Xardikov S.V. Rentgenospektralnyj mikroanaliz nixromovogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v srede kerosina. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 1 (64), pp. 26-31.

40. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorobev E.A., Zubarev M.A. Bystrorezhushhaya stal, dispergirovannaya v kerosine. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 5 (56). pp. 21-25.