

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 658.562.012.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРИНЯТОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Валяева Г.Г., Пузанкова Е.А., Иванова Т.А., Реент Н.А., Трофимова В.Ш.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрена методика моделирования и оценки уровня качества металлопродукции в условиях стабильного технологического процесса производства с помощью надежных методов количественной оценки. Отмечено, что к таким методам относятся методы многомерного статистического анализа качества, которые дают возможность частичного или полного отказа от прямых испытаний (разрушающими методами) и перехода на статистический контроль качества.

Для формирования исходного массива использованы результаты приемосдаточных испытаний крепежных изделий восьми типоразмеров, собранные лабораторией завода за два года.

Уделено особое внимание формированию статистических массивов данных и повышению их информационной ценности. Приведены примеры построения аттестационных моделей для различных типоразмеров крепежных изделий. Выполнен анализ ранее аттестованных моделей по классам прочности в условиях существующих производственных технологий и установлено, что при использовании аттестационных моделей достаточно точно определяется уровень качества, характеризуемый классом прочности.

Ключевые слова: технико-экономический анализ, математическая модель, контроль качества продукции, производственная технология, многомерный статистический анализ, металлопродукция.

Введение

Для современного производства требуются надежные прогрессивные методы количественной оценки уровня качества продукции. В металлургии к таким методам относятся неразрушающие и статистические методы, так как контроль механических свойств металлопродукции разрушающими методами связан с большими материальными, временными, энергетическими и другими затратами. При рациональном сочетании разрушающих, неразрушающих и статистических испытаний можно обеспечить высокую надежность контроля и стабильность качества металлопродукции при значительной экономии материальных, энергетических, трудовых и других видов ресурсов.

Специфика и сложность технологических процессов производства обуславливает вероятностный характер ожидаемых результатов, что

накладывает определенные требования на методы обработки информации с учетом табличного формата представления информационных массивов и интересующего комплексного рассмотрения столбцового и строчного пространства этих данных [6–8].

Существуют два подхода в интерпретации и статистической обработке исходных данных, задаваемых в виде матрицы X многомерных наблюдений, имеющей n строк (случаев) и m столбцов (признаков).

Первый подход основан на статистическом характере данных, что наталкивает исследователя на ту или иную вероятностную модель в предположении, что имеем дело с m -мерной выборкой объема n из генеральной совокупности, и тогда к услугам исследователя – классические методы математической статистики, например регрессионный, или дисперсионный, анализ. Второй подход основан на алгебрологическом анализе матрицы данных X в предположении, что n объектов с m признаками могут быть раз-

биты на k совокупностей (подвыборок) наблюдений или k однородных классов, и тогда очевидную задачу классификации можно решить подходящими для этой цели методами кластерного или дискриминантного анализа. Для обоих подходов общим после выбора конкретного оптимизирующего критерия являются математические средства решения – методы решения экстремальных задач. Различие подходов состоит в обосновании выбора функционала качества метода, его интерпретации и получаемых выводах.

Формирование информационных массивов для моделирования качества продукции черной металлургии

Для моделирования качества крепежных изделий используем результаты приемосдаточных испытаний и построим массив размерностью (3360×20) . Согласно ГОСТ испытания проводились на 10 изделиях, случайно отобранных от каждой партии. Из-за внутриплавочной неоднородности металлопродукция, выдержавшая стандартный контроль, может фактически оказаться бракованной. Поэтому необходимо оценить надежность контроля качества партий по контролируемым признакам, для чего воспользуемся методикой, представленной в статье [9].

Найденные на основе результатов стандартных испытаний законы распределения контролирующих признаков позволяют оценить вероятность выдержать стандартные испытания на ограниченном количестве образцов, но оценить надежность партий, выдержавших стандартный контроль, так же просто не удастся.

Исследования показали, что только по 65–78% партий, выдержавших стандартные испытания на ограниченном количестве образцов, можно гарантировать надежность 0,95 по контролируемому признаку. Остальная часть партий (22–35%) бракуется или по ним дополнительно проводятся испытания на большем количестве образцов, что является дополнительными затратами. Невысокая надежность стандартных испытаний и возможное увеличение затрат на дополнительные испытания приводят нас к необходимости перехода на статистический контроль качества, а именно к построению аттестационных моделей.

Ранее отмечалось наличие внутриплавочной неоднородности, кроме того, имеющаяся неоднородность числового материала: у многих партий изделий и сырья химический анализ проводился не в полном объеме, полный химический анализ был определен у 226 партий, у семнадцати партий изделий были зафиксированы шесть элементов химического состава и т.д. По этим причинам построить регрессионные модели для кон-

троля качества крепежных изделий обычном способом не представляется возможным. Только неформальный предварительный анализ разнотипных данных, проводимый с использованием методов математической статистики, может дать положительный результат.

При формировании информационного массива необходимо учитывать разнородность числового материала и выполнить ряд процедур, повышающих информационную ценность массивов статистических данных:

- проверить результаты химического анализа на несмещенность, в случае положительного ответа распространить после усреднения результаты на всю партию;
- исключить из статистической обработки резко выделяющиеся из общей закономерности аномальные данные (например, с помощью кластерного анализа);
- проверить результативные признаки на нормальность и решить вопрос о целесообразности преобразования данных;
- решить вопрос о возможности объединения в единый массив данных, собранных в разные временные периоды;
- оценить дисперсии контролируемых признаков в каждой партии, т.е. оценить так называемую внутриплавочную неоднородность с целью проверки однородности дисперсий и возможности объединения партий в массивы по типоразмерам и т.д.

Для осуществления перечисленных процедур были найдены некоторые выборочные числовые характеристики входных (x_1-x_{16}) и выходных (y_1-y_3) признаков.

Средние значения и оценки средних квадратических отклонений процентного содержания химических элементов в составе сырья и готовой продукции не совпадали ни в одном из восьми исследуемых массивов, что привело к необходимости исследования средних значений на несмещенность по t -критерию и дисперсий на однородность по F -критерию.

Результаты анализа статистических данных позволили сформировать массивы, пригодные для регрессионного анализа, по каждому из восьми типоразмеров изделий.

Учитывая, что для производства важно не только иметь в распоряжении надежные аттестационные модели, но и выявить для регулирования качеством продукции наиболее влиятельные факторы: механические свойства сырья, химический состав, геометрические размеры, технологические схемы. В статье [2] предложено строить регрессионные модели на основе разных

наборов факторных признаков, интересующих производителей:

I набор факторов – $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$; (сырье);

II набор факторов – $x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}$ (химический состав);

III набор факторов – совокупность всех контролируемых факторов (объединение I и II наборов признаков, с учетом геометрических размеров и технологической схемы).

Регрессионные модели (линейные и квадратичные), полученные на базе I набора при раздельной обработке массивов по типоразмерам, оказались вполне пригодными для аттестации крепежных изделий. Второй набор факторов обеспечил не меньший коэффициент множественной детерминации, чем первый. Это только подтверждает, что в условиях стабильной технологии механические свойства метизов и подката для них сами определяются, в основном, химическим составом металла.

На заключительном этапе построения регрессионных моделей использовался единый массив данных, объединяющий выборки по всем типоразмерам крепежных изделий. Такое объединение существенно расширило возможности моделирования качественных характеристик изделий, так как в этих условиях значительно увеличился вариационный размах признаков. Объединение всех данных в один массив при построении регрессионных моделей наиболее благоприятно сказалось на характеристике y_1 , менее на y_2 и незначительно на y_3 .

Приведенные ниже уравнения составлены на основе массива, объединившего все статистические данные.

В полученных уравнениях задействованы следующие факторы:

- механические характеристики для заготовки: x_1 – временное сопротивление разрыву, x_2 – относительное удлинение после разрыва, x_3 – относительное сужение, x_4 – твердость по Бринеллю, x_5 – твердость по Роквеллу;
- геометрические (размер изделия): x_6 – диаметр заготовки (подката), x_{14} – длина изделия, x_{15} – диаметр изделия;
- химический состав металла изделий и сырья (наличие примесей в металле, %): x_7 – углерод, x_8 – марганец; x_9 – сера, x_{10} – фосфор, x_{11} – хром, x_{12} – никель, x_{13} – медь;
- технологический x_{16} – схема редуцирования (обжатие в один или два прохода) [4].

Приведенные ниже уравнения составлены на основе массива, объединившего все статистические данные.

Для временного сопротивления разрыву, Н/мм²:

$$y_1 = B_0 + 7,526x_{16} + 0,18497x_{12} + 0,15229x_5 + 18,3908x_8 + 25,2657x_{11} - 0,05262x_3 + 0,0252x_4 + 38,75x_9 + 16,7493x_{13} - 20,0755x_{12} - 0,07557x_2 + 6,6265x_7 - 0,00977x_{14};$$

$$R=0,770.$$

Характеристики уравнения представлены в табл. 1.

Таблица 1
Значения $B_0, \Delta, C_{н.4}, C_{н.5}, C_{н.6}$ для y_1 по типоразмерам

Типоразмер изделия	Свободный член уравнения B_0	Ошибка уравнения Δ	Приемочные числа для классов прочности: 4.8, 5.8, 6.8		
			$C_{н.4}$	$C_{н.5}$	$C_{н.6}$
M6	34,77	4,435	49,273	59,273	67,273
M8	32,15	4,316	19,078	59,078	67,078
M10	30,85	3,393	47,564	57,564	65,564
M12	38,38	3,564	47,845	57,845	65,645
M16	30,27	3,268	47,359	57,359	65,359
M20	32,14	3,537	47,801	57,801	65,801
M22	35,48	2,193	45,596	55,596	63,596
M24	33,30	2,134	45,500	55,500	63,500

Уравнение регрессии для определения твердости по Бринеллю:

$$y_2 = B_0 - 0,334x_{14} + 0,258x_4 + 40,079x_7 - 12,594x_{16} + 0,263x_1 + 53,040x_{12} - 4,242x_{15} + 3,328x_6 - 0,175x_3 + 154,338x_9;$$

$$R=0,669.$$

Основные характеристики уравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2
Значения $B_0, \Delta, C_{н.4}, C_{н.5}, C_{н.6}$ для y_2 по типоразмерам

Типоразмер изделия	Свободный член уравнения B_0	Ошибка уравнения Δ	Приемочные числа для классов прочности: 4.8, 5.8, 6.8		
			$C_{н.4}$	$C_{н.5}$	$C_{н.6}$
M6	138,57	19,754	156,397	184,397	213,397
M8	136,95	14,405	147,625	175,625	204,625
M10	143,10	13,570	146,255	174,255	203,255
M12	153,00	11,910	143,532	171,532	200,532
M16	150,39	14,168	147,236	175,236	204,236
M20	141,04	13,788	146,612	174,612	203,612
M22	146,87	11,613	143,045	171,045	200,045
M24	132,49	12,074	143,802	171,802	200,802

Уравнение регрессии для определения твердости по Роквеллу:

$$y_3 = B_0 - 0,090x_{14} + 0,322x_5 - 4,260x_{16} - 1,186x_{15} + 99,031x_9 + 1,581x_6 - 0,073x_3 - 24,728x_{12} + 28,684x_{12} - 0,018x_4 - 13,776x_{11} + 22,064x_{10} - 0,040x_2 + 3,863x_7;$$

$$R=0,734.$$

Основные характеристики уравнения представлены в табл. 3.

Таблица 3
Значения B_0 , Δ , $C_{н.4}$, $C_{н.5}$, $C_{н.6}$ для y_3 по типоразмерам

Типоразмер изделия	Свободный член уравнения B_0	Ошибка уравнения Δ	Приемочные числа для классов прочности: 4.8, 5.8, 6.8		
			$C_{н.4}$	$C_{н.5}$	$C_{н.6}$
M6	78,272	2,832	75,646	86,646	93,646
M8	79,958	2,746	75,503	86,503	93,503
M10	80,348	3,0145	75,944	86,944	93,944
M12	81,415	3,2836	76,385	87,385	94,385
M16	82,880	4,1512	77,808	88,808	95,808
M20	79,357	4,3171	78,080	89,080	96,080
M22	80,328	4,5068	78,391	89,391	96,391
M24	78,458	3,7838	77,205	88,205	95,205

О качестве разработанных моделей многомерной регрессии можно судить по величине ошибки уравнения Δ , приведенной в табл. 1–3 для всех характеристик и типоразмеров, зависит от качества и количества включенных в модель признаков, и при выполнении всех предпосылок регрессионного анализа i -е регрессионные остатки $(y_i - \hat{y})$ распределены нормально со средним значением, близким к нулю, и дисперсией Δ^2 .

Оценка уровня качества продукции в условиях принятой производственной технологии

Кроме того, для оценки полученных моделей и существующей производственной технологии можно, пользуясь методами многомерной классификации, определить корректность отнесения к классам прочности одного из видов крепежных изделий. Используем второй подход, основанный на алгебрологическом анализе матрицы данных о крепежных изделиях в предположении

о том, что полученные в результате аттестации объектов с $x_1 - x_{16}$ признаками могут быть разбиты на классы прочности. Классификация совокупностей объектов на однородные, в определенном смысле, схожие группы может быть выполнена разными методами, в частности методом линейной дискриминации [3].

Алгоритм дискриминантного анализа предполагает использование обучающей выборки при построении решающих правил для классификации новых объектов. В качестве обучающей выборки использовали фактические данные ранее аттестованной продукции, без применения статистических методов, и сведения о составе классов, полученные на основе многомерной классификации методом k - средних.

Для определения существенности различий между классами используем критерий Уилкса. Значения критерия Уилкса вычисляются по формуле

$$\Lambda_W = \prod_{i=1}^{(l-1)} \frac{1}{1 + \lambda_i}.$$

Λ_W – является обратной мерой по отношению к собственным числам λ_i и очевидно, что $0 < \Lambda_W < 1$, поэтому значения Λ_W , статистически близкие к нулю, отвечают высокой степени различимости классов (степень разброса центроидов выше по отношению к степени разброса внутри класса). При $\Lambda_W \rightarrow 1$ ухудшается различение, центроиды станут совпадать и обнаружить групповые различия не представится возможным. При Λ_W , статистики близком к единице, информацию о различии классов не следует включать, т.е. оставшиеся дискриминантные функции могут оказаться статистически незначимыми.

Используем ранее полученные результаты аттестационного анализа и определим критерий Уилкса (табл. 4).

Таблица 4
Значения критерия Уилкса

Признаки	Значение критерия Уилкса	F-статистика
x_1	0,1265	8,71
x_4	0,4635	4463,02
x_5	0,1354	125,09
x_{15}	0,1316	75,25
x_{16}	0,128	27,98

Исходя из приведенных в **табл. 4** значений критерия Уилкса, можно утверждать, что в данном случае можно применить дискриминантный анализ, чтобы сравнить правильность группировки данных ранее аттестованных изделий лабораторными методами [8]. В качестве обучающей выборки воспользуемся результатами аттестации лабораторией.

Качество разбиения характеризует расстояние между кластерами (чем больше, тем качественнее разбиение), из их анализа (**табл. 5**) следует: разбиение на три кластера является вполне приемлемым, так как расстояния между кластерами вполне достаточны.

Таблица 5
Расстояния между кластерами

	G_1:1	G_2:2	G_3:3
G_1:1		1613,4	1196
G_2:2	1613,4		3903
G_3:3	1196,1	3902,6	

Классификационная матрица в **табл. 6** показывает корректность или некорректность отнесения некоторых объектов к определенному классу. В класс 1 попали 4 изделия из класса 2, а в класс 2 – 40 изделий из класса 1, но в целом разбиение достаточно хорошее, т.к. корректность его достигает 98,2%, следовательно, предварительная классификация с помощью аттестационных моделей вполне пригодна.

Таблица 6
Классификационная матрица

Классы	Процент корректности	G_1:1 p=,51574	G_2:2 p=,24498	G_3:3 p=,23928
G_1:1	99,77	1716	4	0
G_2:2	95,10	40	777	0
G_3:3	98,25	14	0	784
Итого	98,26	1770	781	784

Ниже приведены полученные дискриминантные функции, по которым произошло разбиение на классы:

$$G_1 = -282,522 + 0,5330y_1 + 1,695y_2 + 2,438y_3;$$

$$G_2 = -205,58 + 0,5335y_1 + 1,349y_2 + 2,202y_3;$$

$$G_1 = -350,999 + 0,5558y_1 + 2,0498y_2 + 2,391y_3.$$

Как уже говорилось раньше, в качестве предварительного разбиения использовались данные аттестации металлопродукции по моделям, представленным в **табл. 1–3**. В **табл. 7** приведены средние значения классификационных показателей, которые соответствуют трем классам прочности: 4.8, 5.8 и 6.8. Причем кластеру №1 соответствует класс прочности 5.8, кластеру №2 – класс 4.8 и кластеру №3 – класс прочности 6.8. При рассмотрении **табл. 7** следует обратить внимание на то, что существенным признаком отнесения к классу является технологический – чем больше среднее значение показателя x_{16} (схема редуцирования), тем выше класс прочности.

Таблица 7
Средние значения признаков по кластерам

Признак	Кластер №1	Кластер №2	Кластер №3
x_1	61,80406	56,80685	65,9609
x_4	182,9866	149,7797	213,9662
x_5	90,51209	80,06646	93,57845
x_{15}	10,63726	16,83308	9,025275
x_{16}	1,34593	1,116279	1,498747

Заключение

На основании проведенной дискриминации можно сделать следующий вывод: аттестационные модели достаточно корректно производят разбиение на классы прочности – 98,26% правильно отнесенных объектов. Кроме того, можно сделать вывод о структуре выпуска крепежных изделий, выпускаемых предприятием: более 53% изделий имеют класс прочности 5.8; приблизительно поровну – по 23% классы 6.8 и 4.8, причем основная доля изделий с классом прочности 6.8 приходится на изделия маленьких типоразмеров М6-М10. Связано это, в первую очередь, с исходным материалом – подкатом, его размер (диаметр) не является оптимальным для заготовки, поэтому применяют дополнительное обжатие. Цель этого обжатия – придание нужного размера заготовке. Следовательно, если имеется необходимость в увеличении доли изделий больших типоразмеров с повышенным классом прочности, то можно рекомендовать применять для них двойное обжатие. Однако если предприятие хорошо реализует продукцию меньшего класса прочности, то следует

подыскивать материал, обладающий оптимальными размерами, позволяющий не проводить дополнительное обжатие и там самым экономить ресурсы.

Список литературы

1. Мельникова Г.Г. Многомерный статистический анализ качества продукции на металлургических предприятиях: дис. ... канд. экон. наук. Магнитогорск, 2003.
2. Бушманова М.В., Мельникова Г.Г. Некоторые приемы повышения работоспособности регрессионных моделей для аттестации металлопродукции // Математико-статистический анализ социально-экономических явлений: сб. науч. трудов. М.: МЭСИ, 2003.
3. Мельникова Г.Г. Обоснование допустимости и целесообразности перехода на статистический контроль качества металлопродукции // Математика. Приложение математики в экономических, технических и педагогических исследованиях: сб. науч. трудов. Ч. 2. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003.
4. Опыт применения подката из непрерывных заготовок при изготовлении крепежных изделий / Трефилов В.А., Соколов А.А., Гусева Е.М., Федоров А.Н., Гасилин А.В., Мельникова Г.Г. // Эффективные технологии производства метизов: сб. науч. трудов. Магнитогорск, 2001. С. 12–16.
5. Бушманова М.В., Девятченко Л.Д., Мельникова Г.Г. Оценка пригодности процесса изготовления крепежа по контрольным выборкам характеристик качества // Математика. Приложение математики в экономических, технических и педагогических исследованиях: сб. науч. трудов. Магнитогорск: МГТУ, 2005.
6. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики: учебник для вузов. М.: ЮНИТИ, 2001.
7. Бушманова М.В., Мельникова Г.Г. Применение методов математической статистики для повышения надежности контроля свойств проката // VII международная конференция «Применение многомерного статистического анализа в экономике и оценке качества»: тез. доклада. Москва, 2001.
8. Мхитарян В.С., Сиротин В.П. Применение многомерных статистических методов в экономике и оценке качества // Вопросы статистики. 2011. № 1. С. 65–66.
9. Реализация дискриминантного анализа применительно к социально-экономическим объектам / Девятченко Л.Д., Мельникова Г.Г., Милых Т.М., Шарабуряк Ю.А. // Математика. Приложение математики в экономических, технических и педагогических исследованиях: сб. науч. трудов. Вып. 2. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003.
10. Статистический анализ и оценка надежности стандартного контроля качества продукции / Мельникова Г.Г., Девятченко Л.Д., Мхитарян В.С., Бушманова М.В. // Математика. Приложение математики в экономических, технических и педагогических исследованиях: межвуз. сб. науч. трудов. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 63–68.
11. Девятченко Л.Д. Многомерный анализ соответствий организационных признаков и результативности труда в прокатном производстве // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №4. С. 61–69.
12. Никифоров Б.А., Машруев А.Л., Колокольцев В.М. Интеграция образования, науки и производства // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №2. С. 8–12.
13. Оценка ресурсов процесса термообработки рулонов холоднокатаного металла / Девятченко Л.Д., Маяченко Е.П., Корнилов В.Л., Буданова А.П. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №4. С. 44–48.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SIMULATION AND ASSESSMENT OF METAL PRODUCTS QUALITY UNDER CONDITIONS OF THE ACCEPTED PRODUCTION TECHNOLOGY

Valiaeva Galina Gennadiyevna – Ph.D. in Economics, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: valyaevag@list.ru.

Puzankova Evguenia Aleksandrovna – Ph.D. in Mathematics and Physics, Head of the Department of Calculus No. 2 of the Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: janny70@mail.ru.

Ivanova Tatiana Aleksandrovna – Ph.D. in Economics, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Reent Natalia Anatolievna – Ph.D. in Economics, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Trofimova Violetta Shamilievna – Ph.D. in Economics, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Abstract. The article considers simulation and assessment of metal products quality with reliable quantification methods in the context of a stable production process. The authors note that such methods include a multivariate statistical quality analysis which ensures a partial or complete refusal of direct testing (destructive methods) and change-over to a statistical quality control.

Being collected by the plant laboratory in a two-year span, the results of acceptance tests of fasteners of eight

standard sizes have been used to form the original array.

The authors pay a special attention to the formation of statistical data arrays and the improvement of their information value. The article gives examples of the certification model development for various standard sizes of fasteners. The authors have analyzed previously certified models in terms of strength grades under conditions of existing production technologies. It has been found out that a strength-grade quality level can be determined

quite accurately when using certification models.

Keywords: Technical and economic analysis, mathematical model, product quality control, production technology, multivariate statistical analysis, metal products.

References

1. Melnikova G.G. *Multivariate statistical product-quality analysis at metallurgical enterprises*. Ph.D. dissertation. Magnitogorsk, 2003.
2. Bushmanova M.V., Melnikova G.G. Some methods of improving the regression models efficiency for metal products certification. *Matematiko-statisticheskij analiz sotsial'no-ehkonomicheskikh yavlenij: sbornik nauchnykh trudov* [Mathematical and statistical analysis of social and economic phenomena. Collection of scientific works]. M.: MESI, 2003.
3. Melnikova G.G. Justification of acceptability and feasibility of a change-over to a statistical control of metal products quality. *Matematika. Prilozhenie matematiki v ehkonomicheskikh, tekhnicheskikh i pedagogicheskikh issledovaniyakh: sbornik nauchnykh trudov. Chast' 2* [Mathematics. Application of mathematics to economic, technical and pedagogical research. Collection of scientific works. Part 2]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2003.
4. Trefilov V.A., Sokolov A.A., Gusev E.M., Fedorov A.N., Gasilin A.V., Melnikova G.G. Experience in applying semi-finished continuous rolled billets when manufacturing fastening products. *Ehffektivnye tekhnologii proizvodstva metizov: sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific works "Efficient hardware production technologies."]. Magnitogorsk, 2001, pp. 12-16.
5. Bushmanova M.V., Devyatchenko L.D., Melnikova G.G. Quality-test-sampling applicability estimation of the fasteners manufacturing process. *Matematika. Prilozhenie matematiki v ehkonomicheskikh, tekhnicheskikh i pedagogicheskikh issledovaniyakh: sbornik nauchnykh trudov* [Mathematics. Application of mathematics to economic, technical and pedagogical research. Collection of scientific works. Part 3]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2005.
6. Ayvazyan S.A., Mkhitarian V.S. *Prikladnaya statistika i osnovy ehkonometriki: uchebnyk dlya vuzov* [Applied statistics and econometrics basics. Textbook for higher education institutions]. Moscow: UNITY, 2001.
7. Bushmanova M.V., Melnikova G.G. Application of mathematical statistics methods to improve reliability of rolled product feature control. *VII mezhdunarodnaya konferentsiya «Primenenie mnogomernogo statisticheskogo analiza v ehkonomie i otsenke kachestva»: tez. doklada* [VII international Conference on Application of the multivariate statistical analysis in economics and quality assessment]. Moscow, 2001.
8. Mkhitarian B.C., Sirotin V.P. Multidimensional statistical methods in economics and quality assessment. *Voprosy statistiki* [Statistical Issues]. 2011, no. 1, pp. 65-66.
9. Devyatchenko L.D., Melnikova G.G., Mealykh T.M., Sharaburyak Y.A. Implementation of a discriminant analysis in the context of social and economic objects. *Matematika. Prilozhenie matematiki v ehkonomicheskikh, tekhnicheskikh i pedagogicheskikh issledovaniyakh: sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 2* [Mathematics. Application of mathematics to economic, technical and pedagogical research. Collection of scientific works. Part 2]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2003.
10. Melnikova G.G., Devyatchenko L.D., Mkhitarian V.S., Bushmanova M.V. Statistical analysis and evaluation of reliability of a standard quality control. *Matematika. Prilozhenie matematiki v ehkonomicheskikh, tekhnicheskikh i pedagogicheskikh issledovaniyakh: mezhvuz. sbornik nauchnykh trudov* [Mathematics. Application of mathematics to economic, technical and educational research: Interuniversity collection of scientific papers]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2004, pp. 63-68.
11. Devyatchenko L.D. Multivariate analysis of relevant organizational characteristics and rolling production gains in performance. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no. 4, pp. 61-69.
12. Nikiforov B.A., Mastruev A.L., Kolokoltsev V.M. Integration of education, science and industry. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no. 2, pp. 8-12.
13. Devyatchenko L.D., Marchenko E.P., Kornilov V.L., Budanov A.P. Assessment of heat treatment resources of cold-rolled metal coils. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 4, pp. 44-48.

Моделирование и оценка уровня качества металлопродукции в условиях принятой производственной технологии / Валеева Г.Г., Пузанкова Е.А., Иванова Т.А., Реент Н.А., Трофимова В.Ш. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 93–99.

Valiaeva G.G., Puzankova E.A., Ivanova T.A., Reent N.A., Trofimova V.Sh. Simulation and assessment of metal products quality under conditions of the accepted production technology. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 93–99.