

На правах рукописи



Петров Игорь Михайлович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО ПРОКАТА АРМАТУРНОГО**

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Научный руководитель	Полякова Марина Андреевна, доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Плахотникова Елена Владимировна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Инструментальные и метрологические системы, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».
	Радионова Людмила Владимировна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Процессы и машины обработки металлов давлением, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»
Ведущая организация	ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Защита состоится 17 декабря 2020 г. в 14:00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.111.05 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38, малый актовЫй зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», www.mgtu.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Полякова Марина Андреевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На сегодняшний день важной задачей для отечественной металлургической промышленности является повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции как на внутреннем, так и на внешних рынках.

Прокат арматурный является востребованным видом металлопродукции, который широко применяется в железобетонных строительных конструкциях, эксплуатирующихся в различных условиях. Он выпускается в широкой номенклатуре из различных марок стали, характеризуется классами прочности и категориями пластичности, видом профиля, форматом поставки (бухты или стержни). Для его производства используются различные технологические процессы, построенные на применении горячей и холодной деформации и способов ОМД. Конкурентоспособность проката арматурного определяется прежде всего уровнем применяемого технологического процесса. Актуальность разработки и применения эффективных технологических схем обусловлена также тем, что межгосударственный стандарт на прокат арматурный (ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия»), как и национальные стандарты промышленно развитых стран, определяет только требования к арматуре, а способ производства должен разработать производитель. Также актуален этот вопрос при промышленном освоении технологического оборудования, когда необходимо «вычислить» технологию, которая заложена в технологический проект этого оборудования. В связи с этим необходимо разработать систему показателей, которые позволяют оценить эффективность технологического процесса производства металлоизделия, а также методику проведения такой оценки с учетом многовариантности возможных технологических схем.

Степень разработанности темы исследования. Вопросам оценки конкурентоспособности продукции посвящены многочисленные исследования ученых из научных школ ведущих университетов Москвы, Санкт-Петербурга, Курска, Тулы, Магнитогорска и др. Анализ источников научной литературы показал, что использование основных подходов квалитметрии позволяет получить адекватные результаты определения уровня качества продукции, уровня технологического процесса, а также затраты, но делается это без учёта взаимного влияния и системного характера эффективности технологического процесса, определяемого как уровнем технологии, так и уровнем качества продукции и затрат на производство. Кроме того, данная задача может быть осложнена тем, что на один и тот же вид продукции может действовать несколько видов нормативной и технической документации, требования в которых могут либо дублироваться, либо отличаться по числовым значениям. Это требует поиска новых подходов для решения задачи определения эффективности технологических процессов производства продукции.

Целью данной работы является повышение конкурентоспособности проката арматурного на основе выбора эффективной технологической схемы его производства.

Данная цель реализуется решением следующих задач:

- Разработка методики и алгоритма для выбора технологического процесса производства проката арматурного, позволяющего комплексно оценить особенности существующих технологических схем.

- Разработка системы показателей для характеристики технологических процессов производства, которая позволяет учитывать уровень качества и свойства продукции, особенности существующих технологических схем и затрат на производство.

- Разработка подхода для расчёта показателей технологических процессов производства проката арматурного с учетом вариабельности требований к показателям качества в нормативной и технической документации.

- Проверка адекватности разработанной методики с использованием статистического анализа результатов испытаний проката арматурного, произведенного по различным технологическим схемам.

Научная новизна заключается в следующем:

- Разработана методика оценки технологических процессов производства проката арматурного, позволяющая осуществлять выбор эффективного процесса с учетом номенклатуры нормируемых свойств, особенностей существующих технологических схем и затрат на производство.

- Предложен аналитический подход для кодирования абсолютных значений нормируемых свойств продукции, процесса её производства и затрат, что позволяет получить численную оценку эффективности технологического процесса.

- Формализована система критериев для определения эффективности технологического процесса с учетом особенностей регламентации свойств проката арматурного в нормативной и технической документации, существующих технологических схем и затрат на его производство.

Практическую и теоретическую значимость представляют следующие результаты диссертационной работы:

- Разработан алгоритм количественной оценки уровня эффективности технологического процесса, включающий этапы расчёт индекса уровня качества продукции, индекса уровня прогрессивности технологического процесса и индекса затрат на производство, что является основой для выбора технологической схемы производства проката арматурного.

- Предложен новый подход к определению коэффициентов весомости показателей, позволяющий представить их абсолютные значения в кодированном виде с учетом особенностей регламентации свойств проката арматурного в нормативной и технической документации, действующих технологических схем и затрат на производство.

- Проведена оценка адекватности результатов оценки уровня эффективности технологических процессов на основе статистической обработки результатов испытаний проката арматурного, произведенного по различным технологическим схемам.

Методология и методы исследования

В работе использованы методы квалиметрической оценки качества, элементы теории нечётких множеств, метод системного анализа и методы статистической обработки данных.

На защиту автором выносятся:

- Методика и алгоритм количественной оценки существующих технологических процессов производства проката арматурного с использованием индекса эффективности.

- Процедура формализации показателей эффективности технологического процесса производства проката арматурного с использованием индекса уровня качества, индекса уровня прогрессивности технологического процесса и индекса затрат на производство.

- Результаты расчёта и статистического анализа результатов промышленных испытаний проката арматурного, произведенного по различным технологическим схемам для определения уровня их эффективности.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность и обоснованность результатов научных исследований в диссертационной работе демонстрируется не противоречием и общностью полученных выводов с результатами других исследований по данной тематике, внутренней согласованностью отдельных частей диссертационного исследования, корректной постановкой задач исследования, использованием статистических методов обработки данных и сходимостью расчётных с результатами статистической обработки промышленных испытаний проката арматурного.

Основные положения диссертационной работы изложены на следующих научно-технических конференциях: 69-75-ой Межрегиональных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магнитогорск, 2011-2017 гг.), VIII Международная научно-практическая конференция «Техника и технология: новые перспективы развития» (Москва, 2013 г.), XIII Международная научная конференция «Актуальные вопросы современной техники и технологии» (Липецк, 2013 г.), X Международная научно-практическая конференция «Ключевые проблемы современной науки» (София, Болгария, 2014 г.), III молодежная научно-практическая конференция «Magnitogorsk Rolling Practice» (Магнитогорск, 2018 г.), Всероссийская научно-техническая конференция «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (Тула, 2019 г.).

Область исследования соответствует паспорту специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции, а именно п.1 «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов» и п.4 «Квалиметрические

методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством».

Объектом исследования являются технологические процессы производства проката арматурного.

Предметом исследования выступает процедура оценки эффективности технологических процессов, основанных на различных способах обработки металлов давлением.

Личный вклад автора заключается в участии в постановке задач для реализации поставленной в работе цели, проведении анализа отечественных и зарубежных нормативных документов на прокат арматурный, разработке методики оценки эффективности технологических процессов производства проката арматурного, написании статей по теме диссертационного исследования.

Публикации. По теме диссертации опубликована 31 научная работа, из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации результатов диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук, 2 статьи проиндексированы в наукометрической базе Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 154 листах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 181 источник, содержит 8 рисунков, 74 таблицы, 5 приложений на 10 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, дана краткая характеристика выполненной работы.

В первой главе проведен сравнительный анализ отечественной и зарубежной нормативной и технической документации на прокат арматурный, рассмотрены существующие технологические процессы проката арматурного и анализ существующих подходов к оценке эффективности технологических процессов. Сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе представлена методика определения эффективности технологического процесса. Анализ технологического процесса строится на анализе укрупнённых групп показателей, к которым относятся уровень качества продукции, уровень прогрессивности технологического процесса и уровень затрат на производство. Показатели уровня качества определяются из требований нормативной и технической документации, в соответствии с которой производится металлопродукция. Показатели прогрессивности технологического процесса характеризуют применяемые способы ОМД, метод нанесения профиля, приемы, обеспечивающие соответствующий уровень прочностных/пластических свойств проката арматурного. Показатели затрат на производство позволяют учитывать затраты на работу деформации, используемую

марку стали, наличие/отсутствие термической обработки, оборудование и инструмент.

Расчет показателя эффективности технологического процесса основан на использовании адаптированного для технологических процессов метода определения индекса конкурентоспособности товара, предложенного В.Д. Дорофеевым и Ю.Т. Шестопалом

$$I = \alpha_1 Q + \alpha_2 E + \alpha_3 C, \quad (1)$$

где Q – показатель качества продукции; E – показатель прогрессивности технологического процесса; C – показатель затрат на производство; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты весомости указанных показателей.

Частные показатели, характеризующие качество продукции, прогрессивность технологического процесса и затраты на производство также определяются как сумма произведений соответствующих единичных частных показателей на коэффициенты весомости. Единичные частные показатели определяются пропорционально значениям базовой модели или по квалиметрическим шкалам. Базовая модель включает в себя наилучшие показатели анализируемых технологических процессов. В зависимости от целей оценки свертка показателей может осуществляться по формуле среднего геометрического взвешенного. При оценке весомости частных показателей эффективности технологического процесса определяются из известных положений квалиметрии или с помощью адаптированного метода предельных и номинальных значений

$$\beta_i = \frac{1}{\frac{1 - \bar{Q}_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{1 - \bar{Q}_i}}}, \quad (2)$$

где \bar{Q}_i – усреднённое значение частных показателей.

Итоговое значение индекса может принимать значение в диапазоне от 0 до 1. Чем больше значение индекса, тем выше эффективность технологического процесса. Для реализации данной методики разработан алгоритм оценки уровня эффективности технологических процессов, представленный на рис. 1.

Была составлена структурная схема индекса эффективности технологического процесса производства проката арматурного (рис. 2). Данная схема включает показатели качества из нормативной и технической документации, показатели, характеризующие способ упрочнения, лежащий в основе рассматриваемых технологических процессов и обобщенные показатели затрат на производство.

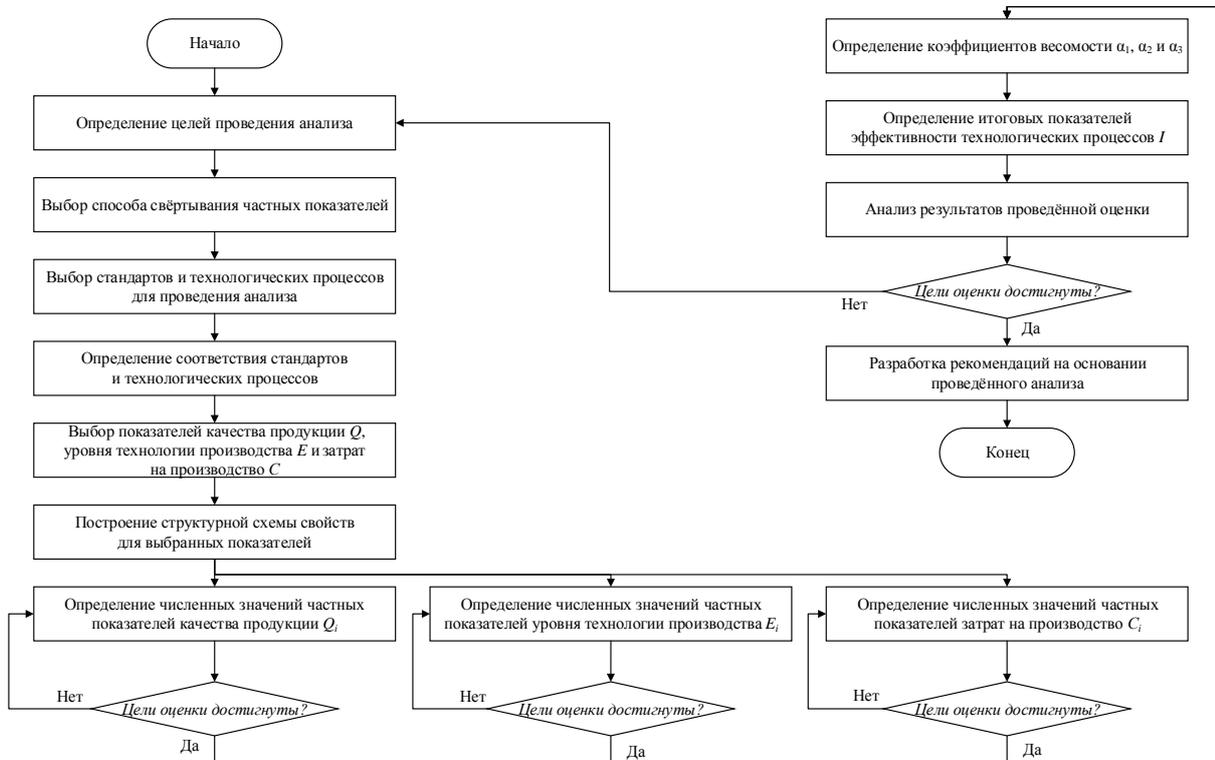


Рисунок 1 – Алгоритм оценки эффективности технологических процессов

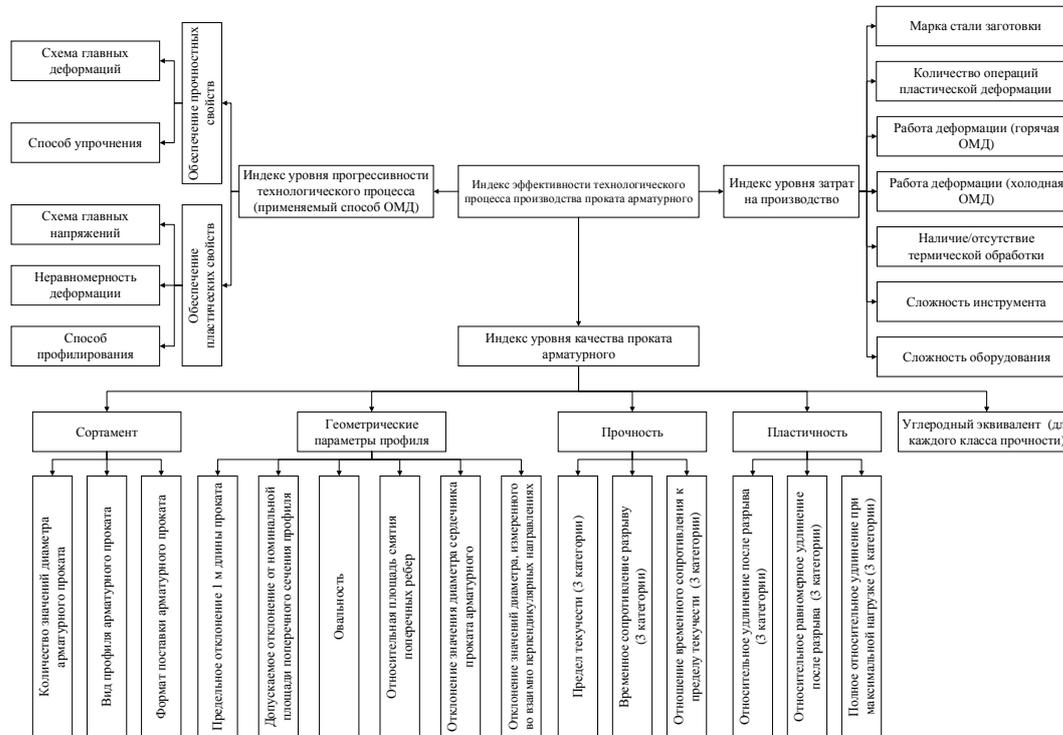


Рисунок 2 – Структура индекса эффективности технологического процесса производства проката арматурного

Третья глава посвящена выбору показателей и оценке эффективности технологических процессов производства проката арматурного с использованием индекса эффективности технологических процессов.

В табл. 1 представлены результаты оценки эффективности технологических процессов в зависимости от нормативного или технического документа.

Таблица 1 – Индексы эффективности технологических процессов производства проката арматурного

Технология	Диапазон индексов	Категория пластичности
Упрочнение в холодном состоянии с высокой степенью деформации горячекатаного гладкого проката с последующим нанесением периодического профиля (монокристаллическая проволока)	0,334-0,552	Категория «А»
Упрочнение в холодном состоянии с высокой степенью деформации горячекатаного гладкого проката с последующим нанесением периодического профиля (роликоточная проволока)	0,427-0,569	
Упрочнение в холодном состоянии с высокой степенью деформации горячекатаного гладкого проката с последующим нанесением периодического профиля (холодная прокатка)	0,453-0,596	
Горячая прокатка легированной стали	0,654-0,680	Категория «В»
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	0,512-0,657	
Горячая прокатка низкоуглеродистой стали с контролируемым охлаждением	0,704-0,748	Категория «С»
Упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации горячекатаного проката с готовым периодическим профилем (метод Stretching)	0,846-0,860	
Горячая прокатка микролегированной стали с контролируемым охлаждением	0,831-0,845	

Для каждого варианта технологической схемы производства проката арматурного получен диапазон индексов эффективности технологических процессов, поскольку использование одного и того же способа упрочнения, лежащего в основе технологического процесса производства проката арматурного, может быть регламентировано в разных нормативных или технических документах. Границы диапазона соответствуют наибольшему и наименьшему значениям индексов в зависимости от стандарта. Сделан вывод о том, что для изготовления высокопластичной арматуры (категория С) наиболее рациональной технологической схемой является «Stretching». Для производства проката арматурного с уровнем пластичности категории В – горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпусканием в потоке прокатного стана. Для производства проката с уровнем пластичности категории А – горячая прокатка легированной стали.

В четвёртой главе представлены результаты проверки адекватности результатов проведённой оценки эффективности технологических процессов с использованием методов математической статистики. Для проверки были обработаны выборки результатов испытаний проката арматурного классов А400С и А500С по СТО АСЧМ 7-93 (термомеханически упрочнённый в потоке прокатного стана), проката арматурного класса В500С по ГОСТ Р 52544-

2006 (упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля), прокату арматурному класса А500У по ГОСТ 34028-2016 (упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации, т.е. менее 5%, методом «Stretching» горячекатаного проката с периодическим профилем) и проката арматурного класса А-III по ГОСТ 5781-82 (горячая прокатка легированной стали). Сравнение статистических показателей для анализируемых классов проката представлено в табл. 2-4.

Таблица 2 – Сравнение статистических показателей предела текучести проката арматурного

Показатель	B500C	A500C	A400C	A500Y	A-III
Количество значений	434	54	52	131	36
<u>min-max</u> среднее	<u>500-700</u> 565,07	<u>500-590</u> 526,39	<u>410-445</u> 423,17	<u>509-721</u> 591,96	<u>406-437</u> 418,16
Размах	200	90	35	212	31,26
Стандартное отклонение	33,88	24,06	10,20	46,76	6,88
Коэффициент вариации	5,99%	4,57%	2,41%	7,90%	1,65%
Асимметрия	1,17	1,51	0,88	0,38	1,04
Экссесс	2,33	1,24	-0,31	-0,15	1,12
Доверительный интервал 95%	498,66	479,24	403,19	500,3	404,66

Таблица 3 – Сравнение статистических показателей временного сопротивления разрыву проката арматурного

Показатель	B500C	A500C	A400C	A500Y	A-III
Количество значений	434	54	52	131	36
<u>min-max</u> среднее	<u>550-745</u> 606,01	<u>600-680</u> 635,19	<u>485-550</u> 501,73	<u>601-809</u> 669,40	<u>648-674</u> 658,88
Размах	195	80	65	208	26,03
Стандартное отклонение	34,47	17,24	15,40	39,96	7,21
Коэффициент вариации	5,68%	2,71%	3,07%	5,97%	1,09%
Асимметрия	1,30	0,14	1,58	1,19	0,34
Экссесс	2,63	-0,32	2,26	2,25	-0,69
Доверительный интервал 95%	538,45	601,40	471,55	591,09	644,75

Таблица 4 – Сравнение статистических показателей по пластическим свойствам проката арматурного

Показатель	B500C	A500C	A400C	A500Y
	δ_p	δ_{max}	δ_{max}	δ_p
Количество значений	927	54	53	42
min-max	<u>2,0-3,8</u>	<u>6,2-10,5</u>	<u>15,50-37,00</u>	<u>3,4-7,0</u>
среднее	2,5	9,3	24,83	5,2
Размах	1,8	4,3	21,5	3,6
Стандартное отклонение	0,29	0,83	4,37	0,93
Коэффициент вариации	11,68%	8,90%	17,59%	17,80%
Асимметрия	1,12	-1,47	0,72	0,24
Экссесс	1,92	3,25	0,84	-0,22
Доверительный интервал 95%	1,95	7,70	16,27	3,4

Анализ результатов показал высокую вариабельность механических свойств отечественного холоднодеформированного проката арматурного класса B500C, а рассеивание величин основных эксплуатационных характеристик вокруг их средних значений по моде отличается от нормального распределения и смещена в сторону браковочных границ. При статистической оценке 95% надежности такое распределение свойств выводит основные показатели холоднодеформированного проката за нормативные значения.

Аналогичные результаты, свидетельствующие о высокой вариабельности и неоднородности свойств, получены при статистическом анализе результатов промышленных испытаний проката арматурного классов A400C и A500C. Низкий уровень статистических показателей проката арматурного классов A500 и B500 связан с использованием устаревших технологий производства заготовки для проката арматурного.

Прокат арматурный класса A500Y, произведённый способом «Stretching» имеет лучшие статистические показатели по сравнению с прокатом арматурным классов A400C, A500C и B500C.

Тем не менее для технологий, имеющих малое значение индекса эффективности, возможно улучшить статистические показатели выпускаемой продукции. Достичь этого можно при использовании современного автоматизированного оборудования. Это позволит повысить уровень данных технологий, что подтверждается результатами статистической обработки результатов испытаний горячекатаного проката арматурного класса А-III, произведенного в ООО «Тулачермет-Сталь».

Также для проверки адекватности оценки эффективности были рассчитаны индексы эффективности анализируемых технологий. При этом индекс уровня качества Q продукции был рассчитан по статистическим показателям (табл. 2-4), которые были использованы вместо свойств проката арматурного, регламентируемых в нормативной и технической документации. Результаты расчёта представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Проверка адекватности результатов оценки эффективности технологических схем производства проката арматурного

	Индекс качества	Индекс уровня технологии	Индекс затрат на производство	Индекс эффективности
B500C	0,863	0,303	0,759	0,863
A500C	0,901	0,690	0,911	0,901
A400C	0,872	0,690	0,911	0,828
A500Y	0,924	0,898	0,870	0,924
A-III	0,905	0,765	0,750	0,839

Проведена сравнительная оценка значений индекса эффективности различных технологических процессов производства проката арматурного. Результаты расчетов показали, что при сравнительно одинаковых значениях индекса уровня качества продукции для всех анализируемых процессов упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации горячекатаного проката периодического профиля имеет наибольшее значение индекса эффективности. Это свидетельствует о том, что прокат арматурный, произведенный по данному технологическому процессу, обладает лучшими конкурентными преимуществами по сравнению с аналогами, произведенными по другим технологическим схемам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика оценки эффективности технологического процесса производства проката арматурного, позволяющая учитывать совокупность показателей, которые отличают одну технологическую схему от другой: качество производимой продукции в соответствии с требованиями нормативной и технической документации, показатели технологического процесса, которые характерны для конкретного технологического процесса и выделяют его из множества аналогичных, уровень затрат на производство.

2. В результате теоретических исследований доказано, что оценку эффективности технологического процесса следует проводить в соответствии с разработанным алгоритмом, последовательное выполнение этапов которого позволяет получить численное значение эффективности, что является основой для сравнения существующих технологических схем с учетом особенностей их осуществления.

3. На основе принципов квалиметрии оценку эффективности технологического процесса предложено проводить с использованием индекса его эффективности, который рассчитывается в виде алгебраической суммы индекса прогрессивности и уровня качества продукции, индекса уровня прогрессивности технологического процесса и индекса уровня затрат на производство, умноженных на соответствующие весовые коэффициенты. Для расчета каждого индекса используется ряд показателей (комплексных и единичных), определяющих сущность каждого из разработанных индексов.

4. Для возможности сравнения и проведения необходимых математических действий с различными по своей физической природе величинами разработан прием их кодирования. Кодированная величина рассчитывается как отношение номинального значения величины к соответствующему показателю

базовой модели. Для составления базовой модели выбираются наибольшие/наименьшие значения всех величин, используемых для анализа, либо их размах.

5. Для проверки адекватности разработанной методики количественной оценки эффективности технологических схем производства проведена статистическая оценка результатов испытаний проката арматурного классов прочности А400С, А500С, В500С и А500У, произведенного по различным технологическим схемам. Результаты расчетов показали, что прокат арматурный класса А500У имеет лучшие статистические показатели по сравнению с прокатом арматурным классов А400С, А500С и В500С, что объясняется высокой степенью стабильности технологии упрочнения в холодном состоянии с малой степенью деформации горячекатаного проката с готовым периодическим профилем. При этом данная технологическая схема имеет наибольшие значения индекса эффективности по сравнению с другими применяемыми процессами. Это свидетельствует о том, что прокат арматурный, произведенный по технологии упрочнения в холодном состоянии с малой степенью деформации горячекатаного проката с готовым периодическим профилем, более конкурентоспособен на рынке металлопродукции.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Харитонов, В. А. Оценка и направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – № 4. – С. 65–69.
2. Харитонов, В. А. Современное состояние и направления развития технологических процессов производства бунтовой арматурной стали повышенной пластичности / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Производство проката. – 2014. – № 1. – С. 28–32.
3. Харитонов, В. А. Выбор эффективной технологии изготовления конкурентоспособной арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Сталь. – 2015. – № 7. – С. 41–44.
4. Процессный подход к оценке конкурентоспособности технологического процесса производства металлоизделий / М.А. Полякова, В.А. Харитонов, И.М. Петров // Производство проката. – 2019. – № 4. – С. 12–16.

В изданиях, входящих в Scopus

5. Kharitonov, V. A. Efficient Production of Competitive Steel Rebar / V.A. Kharitonov, I.M. Petrov // Steel in Translation. – 2015. – Vol. 45. – №7. – P. 517–520.
6. Procedure for Evaluating Competitiveness of Production Processes / I.M. Petrov, V.A. Kharitonov, M.A. Polyakova // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 946. – P. 726–731.

Публикации в других изданиях

7. Сравнительный анализ требований отечественных и зарубежных стандартов на углеродистую проволоку / В.А. Харитонов, И.М. Петров, К.Л. Мамалимов // Образование, наука, производство. – 2011. – № 6. – С. 117–123.

8. Харитонов, В. А. Пути повышения конкурентоспособности низкоуглеродистой стальной проволоки / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Материалы трудов 69-й научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. – 2011. Т. 1. – С. 230–232.
9. Харитонов, В. А. Анализ и направления развития процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2012. – № 38. – С. 31–38.
10. Харитонов, В. А. Оценка и пути повышения конкурентоспособности низкоуглеродистой арматурной проволоки / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Образование, наука, производство. – 2012. – № 7. – С. 104–109.
11. Харитонов, В. А. Способы повышения конкурентоспособности низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. – 2012. – С. 267–277.
12. Анализ уровня качества арматурного проката класса В500С на основе методов математической статистики / В.А. Харитонов, С.В. Снимщиков, В.А. Харитонов, И.Н. Суриков, И.М. Петров // Бюллетень НТИ. Черная металлургия. – 2013. – № 8. – С. 48–59.
13. Харитонов, В. А. Методика выбора конкурентоспособных технологических процессов / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. – 2013. – С. 183–190.
14. Харитонов, В. А. Выбор эффективных технологических процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматуры / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Техника и технология: новые перспективы развития: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – М.: Издательство «Спутник+». – 2013. – С. 18–21.
15. Харитонов, В. А. Методика оценки эффективности производственного процесса изготовления арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Актуальные вопросы современной техники и технологии: Сборник докладов XIII Международной научной конференции. – Липецк: Издательский центр «Гравис». – 2013. – С. 158–162.
16. Харитонов, В. А. Совершенствование технологических процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы трудов 71-й научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2013. Т. 1. – С. 273–276.
17. Харитонов, В. А. Оценка эффективности производственного процесса изготовления бунтовой арматурной стали на основе системного подхода / В.А. Харитонов, И.М. Петров // ФГБОУ ВПО «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». – Магнитогорск, 2013. – 39 с.: ил. Библиогр. 49 назв. – Рус. – Деп. В ВИНТИ 07.06.2013 № 160-В2013
18. Харитонов, В. А. Современные методы управления и оценки конкурентоспособности продукции / В.А. Харитонов, И.М. Петров // ФГБОУ ВПО «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». – Магнитогорск, 2013. – 62 с.: ил. Библиогр. 41 назв. – Рус. – Деп. В ВИНТИ 27.03.2013 № 89 - В2013

19. Харитонов, В. А. Методика оценки конкурентоспособности технологических процессов изготовления арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2014. Т. 1. – № 1. – С. 73–76.
20. Харитонов, В. А. Методика оценки конкурентоспособности технологических процессов на примере арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Ключевые проблемы современной науки: сборник докладов X научно-практической конференции. – Болгария, София: «Бял ГРАД-БГ». – 2014. – С. 6–10.
21. Оценка и управление технологическими процессами производства бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, Н.В. Мелихова, И.М. Петров // Качество в обработке материалов. – 2015. – № 1. – С. 49–54.
22. Харитонов, В. А. Направления развития отечественного производства бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2015. – № 2 (43). – С. 44–47.
23. Анализ уровня качества арматурной стали А400С и А500С на основе методов математической статистики / В.А. Харитонов, Н.Н. Ильина, И.М. Петров // Качество в обработке материалов. – 2016. – № 1. – С. 18–22.
24. Харитонов, В. А. Выбор конкурентоспособных производственных процессов изготовления бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. – 2016. – № 22. – С. 67–73.
25. Харитонов, В. А. Методика выбора конкурентоспособных производственных процессов / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Качество в обработке материалов. – 2016. – № 1. – С. 25–27.
26. Харитонов, В. А. Оценка конкурентоспособности технических процессов производства бунтовой арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2016. Т. 1. – № 1. – С. 137–139.
27. Петров, И. М. Сравнение требований отечественных и зарубежных стандартов на низкоуглеродистую бунтовую арматурную сталь / И.М. Петров // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2017. – № 1 (46). – С. 39–45.
28. Оценка процесса производства арматурного проката на основе статистических показателей / М.А. Полякова, В.А. Харитонов, И.М. Петров // Теория и технология металлургического производства. – 2018. – № 2(25). – С. 22–26.
29. Петров, И. М. Выбор конкурентоспособных производственных процессов изготовления бунтовой арматурной стали / И.М. Петров, М.А. Полякова // Magnitogorsk rolling practice 2018. – 2018. – С. 123–124.
30. Выбор технологии для изготовления бунтового арматурного проката повышенной пластичности / М.А. Полякова, В.А. Харитонов, И.М. Петров // Образование России и актуальные вопросы современной науки. – 2018. – С. 178–181.
31. Методика оценки эффективности технологических процессов производства проката арматурного / М.А. Полякова, В.А. Харитонов, И.М. Петров // Всероссийская научно-техническая конференция «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении». 23-25 октября 2019 г.: сборник докладов. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2019.