

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»



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

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор
Полякова Марина Андреевна

Магнитогорск – 2020

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ.....	10
1.1 Назначение и номенклатура проката арматурного. Анализ требований стандартов.....	10
1.2 Конкурентоспособность проката арматурного и факторы, которые её определяют	14
1.3 Основные технологические процессы производства проката арматурного.....	16
1.4 Анализ методов оценки эффективности технологических процессов...	22
1.5 Выводы. Постановка цели и задач исследования.....	29
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	31
2.1 Факторы, определяющие эффективность технологических процессов.	31
2.2 Разработка методики расчёта индекса эффективности технологического процесса	34
2.3 Построение алгоритма определения индекса эффективности технологического процесса.....	40
2.4 Определение коэффициентов весомости частных показателей эффективности технологических процессов.....	47
2.5 Выбор показателей для оценки эффективности технологического процесса производства проката арматурного	50
2.6 Выводы.....	52
ГЛАВА 3. РАСЧЁТ УРОВНЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА АРМАТУРНОГО.....	55
3.1 Расчёт индекса уровня качества проката арматурного.....	55
3.1.1 Расчёт индекса сортамента проката арматурного	55

3.1.2	Расчёт индекса геометрических параметров профиля проката арматурного	61
3.1.3	Расчёт индекса прочности проката арматурного	65
3.1.4	Расчёт индекса пластичности проката арматурного	71
3.1.5	Расчёт индекса углеродного эквивалента проката арматурного	78
3.1.6	Расчёт итогового значения индекса уровня качества и прогрессивности проката арматурного	82
3.2	Расчёт индекса уровня прогрессивности технологического процесса производства проката арматурного.....	85
3.3	Расчёт индекса затрат на изготовление проката арматурного	94
3.4	Расчёт индекса эффективности технологических процессов производства проката арматурного.....	100
3.5	Выводы.....	102
ГЛАВА 4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА АРМАТУРНОГО.....		
105		
4.1	Сравнительный анализ технологических процессов производства проката арматурного по результатам статистического анализа уровня качества	105
4.1.1	Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного класса В500С, произведённого способом упрочнения холодной пластической деформацией с высокой степенью деформации .	107
4.1.2	Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного классов А400С и А500С, произведенного способом термоупрочнения в потоке прокатного стана	115
4.1.3	Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного класса А500У, произведённого упрочнением в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации.....	119

4.1.4 Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного класса А-III, произведённого горячей прокаткой легированной стали.....	121
4.2 Сравнительный анализ эффективности технологических процессов производства проката арматурного. Проверка адекватности полученных результатов	123
4.3 Выводы.....	129
Заключение	132
Список литературы	134
Приложение 1	155
Приложение 2	159
Приложение 3	162
Приложение 4	163
Приложение 5	164

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

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

Прокат арматурный является востребованным видом металлопродукции и характеризуется широкой номенклатурой, отличающейся видом поставки, классами прочности и пластичности, марками стали и видом профиля. Для производства проката арматурного существуют различные варианты технологических процессов, основанные на разных способах холодной и горячей пластической деформации. Если ранее в действующих стандартах регламентировали технологические процессы производства проката арматурного, то с принятием ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» процессы производства не регламентируются. Следовательно, производитель из множества существующих технологических схем производства проката арматурного должен самостоятельно выбрать такой вариант, который обеспечивал бы производство проката арматурного в соответствии с требованиями потребителей. Причем необходимо обеспечить выбор эффективной технологической схемы производства проката арматурного, не только обеспечивает необходимый уровень механических свойств, но также конкурентоспособность проката арматурного на рынке металлопродукции. Учитывая системный характер оценки эффективности технологических процессов, то вполне очевидна задача необходимости разработки такой методики, которая позволяла бы сравнить различные варианты технологических процессов, их технические особенности и экономические аспекты.

Таким образом, задача разработки методики оценки эффективности, позволяющей сравнить различные варианты производственных процессов является актуальной как для устранения методологических пробелов в области управления качеством, так и для создания инструмента по оценке существующих технологических процессов производства проката арматурного, в котором нуждаются отечественные металлургические предприятия.

Степень разработанности

Анализ эффективности той или иной технологической схемы целесообразно проводить с использованием подходов квалиметрии, которые разработаны и апробированы для оценки качества разных видов продукции.

В теории управления качеством существует большое количество методик, используемых для оценки уровня технологических процессов. Данные методики разработаны в рамках научных школ ведущих университетов Москвы, Санкт-Петербурга, Курска, Тулы, Магнитогорска и др. Однако, как правило, оценка производится по какому-либо одному параметру, характеризующему технологический процесс, например, уровень энергозатрат, уровень качества готовой продукции и т.д.

Несмотря на значительное количество теоретических исследований и практических работ в области развития оценочных процедур методы оценки эффективности технологических процессов не позволяют количественно оценить технологический процесс и выбрать на основе этого наиболее эффективный из существующих вариантов.

Объектом исследования являются технологические процессы производства проката арматурного.

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

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

Данная цель реализуется решением следующих задач:

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

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

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

4. 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 осуществить 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.

Методы исследования

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

Теоретическую и практическую 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.

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. 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.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы изложены на ряде научно-технических конференций: 69-75-ой Межрегиональных научно-технических конференциях «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магнитогорск, 2011-2017 гг.), VIII Международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития» (Москва, 2013 г.), XIII Международной научной конференции «Актуальные вопросы современной техники и технологии» (Липецк, 2013 г.), X Международной научно-практической конференции «Ключевые проблемы современной науки» (София, Болгария, 2014 г.), III молодежной научно-практической конференции «Magnitogorsk Rolling Practice» (Магнитогорск, 2018 г.) и Всероссийской научно-технической конференции «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (Тула, 2019 г.).

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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ

На сегодняшний день для отечественной металлургической промышленности важной является задача повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, а также обеспечение импортозамещения. Решение данной задачи возможно только при использовании на предприятиях современных эффективных технологий, дающих возможность производить товары, соответствующие мировым требованиям при минимальных затратах на производство.

Одним из востребованных видов металлопродукции является прокат арматурный. На сегодняшний день в российской и международной практике используется прокат арматурный различных категорий прочности и пластичности, разных форматов поставки, с разным видом периодического профиля и т.д. Перед производителями стоит задача производства конкурентного проката арматурного [1]. Часто для производства одного и того же вида продукции, в том числе и для проката арматурного, применяются различные технологические процессы, отличающиеся набором основных и вспомогательных операций. Данные технологические процессы позволяют выпускать продукцию разного уровня качества при разном уровне затрат на производство. Поэтому для производства конкурентоспособной продукции необходимы методы, позволяющие выбрать наиболее эффективный технологический процесс её производства.

1.1 Назначение и номенклатура проката арматурного. Анализ требований стандартов

В современной нормативной документации все виды металлопродукции, используемые для армирования бетона объединены под термином «прокат

арматурный». Данным термином обозначаются не только виды арматуры, полученные прокаткой, но и арматура, для получения которой использовались другие методы упрочнения, например, волочение или растяжение с изгибом. Поэтому в дальнейшем в работе термин «прокат арматурный» будет применяться ко всем видам продукции, используемой для армирования бетона независимо от способа производства.

Бетон и железобетон являются прогрессивным и непрерывно развивающимся видами строительных материалов [2]. В европейской и международной практике проектирования и строительства в соответствии с стандартом EN 1992-1 Eurocode2 для арматуры, используемой в ненапряженном железобетоне, регламентируются три категории прочности: 400, 500 и 600 МПа, определяемых пределом текучести, причем, для каждого класса прочности включены три категории пластичности арматуры: А, В и С (показатель полного относительного удлинения при максимальном напряжении $\geq 2,5$; ≥ 5 и $\geq 7,5\%$ соответственно) [3, 4]. Также необходимо высокое сцепление с бетоном, характеризующееся относительной площадью смятия поперечных ребер профиля f_R [5].

До введения в России ГОСТ 34028-2016 и ГОСТ Р 57357-2016/EN 10080:2005 уровень требований многих отечественных стандартов уступал требованиям зарубежных стандартов. Например, в отечественных стандартах СТО АСЧМ 7-93 и ГОСТ Р 52544-2006 регламентировались свойства, соответствующие лишь категории А по Eurocode 2, то есть $A_{gt} \geq 2,5\%$. Категории В и С в отечественных стандартах не предусматривалось [6, 7]. Кроме стандартов на метизных предприятиях используются большое количество технических условий. [8].

Анализ требований потребителей показал, что на сегодняшний день востребован прокат арматурный со следующими свойствами [5, 6, 9–16]:

- класс прочности 400, 500 и 600 Н/мм²;
- категории пластичности в соответствии с Eurocode 2;

- повышенная пластичность, необходимая для снижения риска лавинообразного разрушения ЖБК

- способы упрочнения арматуры должны минимизировать применение операций термической обработки;

- поставка в бухтах рядной смотки дифференцированной массы от 2 до 5 тонн;

- в интервале диаметров от 4 до 10 мм номинальный размер должен производиться через 0,5 мм, в интервале от 10 до 16(18) мм – через 1 в минусовом поле допуска;

- форма периодического профиля должна обеспечивать высокие показатели сцепления с бетоном;

- периодический профиль должен формироваться при горячей прокатке;

- технологическая свариваемость должна обеспечиваться не только низким содержанием углерода, но и содержанием легирующих элементов;

- высокая коррозионная стойкость в среднеагрессивных средах и морозоустойчивость до -50°C .

Формат поставки проката арматурного является важной экономической составляющей для прямых потребителей. Бухтовой формат поставки арматуры может обеспечить практическое исключение обрезки при раскросе на мерные длины, высокую эффективность в индустриализации процессов механизированного производства сварных и других изделий и заготовок [17]. В мировой практике на смену формата бухт горячекатаного проката приходит бухты рядной смотки.

Технологии упрочнения проката арматурного играют важную роль для обеспечения комплекса его свойств. В Европе для производства высокопластичного проката категории «С» класса прочности 500 Н/мм^2 и выше используют легированную ванадием и молибденом сталь без термической обработки, или низкоуглеродистую сталь, упрочненную способом «Stretching».

Из их анализа работ [18–22] следует, что прокат арматурный должен быть технологичным в производстве и обеспечивать высокое сцепление с бетоном. Именно формат геометрии периодического профиля обеспечивает выполнение данных требований [5, 23]. Применение периодической арматуры уменьшает размеры различных опор, фундаментов и т.д., при этом экономится бетон, уменьшается масса и стоимость конструкции [24–27].

Требования к механическим свойствам проката арматурного по EN 1992-1 Eurocode2 и другим международным нормативным документам в отличие от многочисленных стандартов России унифицированы независимо от способа упрочнения или формы периодического профиля. Необходимо отметить, что способ производства выбирается производителем и сообщается потребителю по запросу.

Также в работах [28, 29] представлен сравнительный анализ требований российских и международных стандартов на прокат арматурный. Анализ нормативной документации позволил выявить следующие особенности нормирования свойств данного вида металлопродукции:

- различия по структуре стандартов, классификации и обозначению классов прочности и категорий пластичности;
- различия в марочных рядах, системах легирования сталей;
- различие в регламентации допускаемых отклонений геометрических параметров профиля и химического состава сталей;
- в отечественных стандартах, как правило, больше нормируемых показателей, широкий типоразмерный сортамент и различные варианты поставки продукции.

Необходимо отметить, что ни разработка новых ТУ, ни дополнительные соглашения между производителем и потребителем не обеспечат получения высоких пластических свойств проката арматурного [30]. Современные требования к его пластическим свойствам требуют новых подходов и решений в выборе сырья [31] и самой технологии её производства [32].

Отсутствие в некоторых отечественных стандартах гарантий на равномерное удлинение при максимальной нагрузке является препятствием для сертификации российского проката арматурного на Западе [28]. При неизменности более чем за полувековой период основных операций технологии производства проката арматурного новые требования к качеству требуют иных подходов к выбору технологии производства металлопродукции и к свойствам исходных материалов.

1.2 Конкурентоспособность проката арматурного и факторы, которые её определяют

Качество и затраты на производство, т.е. по сути конкурентоспособность любой продукции, в том числе и проката арматурного, во многом зависят от уровня требований к готовой продукции, которые нормируются в действующей нормативной и технической документацией, и параметров заготовки, поступающей в технологический процесс. В итоге же свойства проката арматурного формируются в ходе основных операций технологического процесса, к которым относятся способы обработки металлов давлением (ОМД) и термическая обработка [33].

Определение качества заготовки и готовой арматуры по совокупности ее технических и экономических свойств является основой для выбора эффективных производственных мероприятий, способных с наименьшими затратами ресурсов обеспечить требуемое качество готовой продукции. Исходя из этого необходимо определить общие схемы управления конкурентоспособностью проката арматурного путем разработки и выбора эффективных технологических схем производства, принимая во внимание экономическую целесообразность каждой операции [34].

Для производства проката арматурного с требуемым уровнем свойств важным вопросом является выбор способа упрочнения. Способы упрочнения проката должны определяться производителем [5]. Можно выделить

следующие предпочтительные способы: легирование, контролируемое охлаждение и отпуск, упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации и упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации [9].

Как показывает опыт, приобретая современное оборудование и серьезно модернизируя основные фонды, технологически при производстве проката арматурного класса прочности 500 Н/мм² в мелкосортном сортаменте отечественные производители остались на старых, применявшихся ещё в СССР технологиях упрочнения – двухстадийной термической обработке низкоуглеродистых марок стали. Практически все новые проекты металлургических мини-заводов остаются на той же технологической базе.

В России становится серьезной проблемой, когда по условиям свариваемости и коррозионной стойкости во многих регионах России, таких как северные регионы, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, в том числе в мостостроении и дорожном строительстве, термомеханически упрочненный прокат арматурный класса А500С из низкоуглеродистой стали применяется крайне редко. Единственным массово применяемым прокатом здесь остается горячекатаный прокат по ГОСТ 5781-82 из стали марок 25Г2С и 35ГС, которые сегодня в большинстве случаев уже не рекомендованы или ограничены к применению.

Упрочнение арматуры из низкоуглеродистых сталей в потоке станов широко используется как в отечественной, так и зарубежной практике. В настоящее время в промышленности реализованы многочисленные схемы термического и термомеханического упрочнения. Принципиально данный способ реализуется следующим образом: за чистовой клетью станов устанавливаются камеры, где с помощью специальных форсунок, работающих под давлением, происходит интенсивное охлаждение поверхности проката турбулентными потоками воды со скоростью $V_{\text{охл}} = 1000$ °/с. Проходя со скоростью 8-15 м/с через камеру, прокат охлаждается от температуры конца

прокатки 1000-1050 °С до среднемассовой температуры 580-680 °С в зависимости от интенсивности подачи воды. Затем прокат попадает на рольганги холодильника, где происходит самоотпуск за счет тепла, накопленного в металле [35]. Профили, упрочненные в потоке прокатного стана, имеют неоднородную по сечению структуру [36]. На поверхности формируется твердый слой, сердцевина остаётся более мягкой и вязкой. Прокат диаметром до 10 мм обладает худшей хладостойкостью. Коррозионная стойкость под напряжением снижается при уменьшении диаметра стержней [35].

Холодное упрочнение металла является самым дешевым из всех известных способов, но его влияние на механические свойства для углеродистых сталей зависит от степени деформации и содержания углерода.

Для производства высокопластичного проката арматурного способ холодного упрочнения с большой степенью деформации не может рассматриваться, поскольку такой способ профилирования как технически, так и экономически нецелесообразен. Предпочтительным является профилирование при горячей прокатке. Оно обеспечивает равновесную микроструктуру металла и высокое значение относительной площади смятия поперечных ребер профиля [5].

1.3 Основные технологические процессы производства проката арматурного

Как показывает анализ отечественного и зарубежного промышленного опыта возможных способов производства проката арматурного, для получения арматуры, соответствующей категориям пластичности «А», «В» и «С», можно сделать вывод о выборе способа производства для каждой категории пластичности [9, 37, 38].

Рассмотрим технологии производства проката арматурного, основанные на различных способах упрочнения [39, 40]. В табл. 1.1 представлены

существующие технологии производства проката арматурного в зависимости от используемых способов упрочнения с учётом возможности обеспечения пластических свойств.

Таблица 1.1 – Существующие технологии производства проката арматурного

Горячая пластическая деформация	Холодная пластическая деформация	Категория пластичности
Горячая прокатка легированной стали (25Г2С, 35ГС) с периодическим профилем	–	Категория «А»
Горячая прокатка низкоуглеродистой стали круглого сечения	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (волочение в монолитной волоке)	
	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (волочение в роликовой волоке)	
	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	
Горячая прокатка с последующим контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана (круглое сечение)	Нанесение периодического профиля	
Горячая прокатка низкоуглеродистой стали с периодическим профилем	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации	Категория «В»
Горячая прокатка с последующим контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана (периодический профиль)	–	
Горячая прокатка низкоуглеродистой стали с периодическим профилем	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	Категория «С»
Горячая прокатка микролегированной (V, Nb, Mo) стали с периодическим профилем с последующим контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана	–	

Горячекатаная низкоуглеродистая арматура имеет высокую пластичность и высокое сцепление с бетоном, но характеризуется низкой прочностью, отсутствием возможности производить прокат малых диаметров и использовать рядную намотку. Получение требуемого уровня прочностных свойств обеспечивается заменой низкоуглеродистой заготовки на заготовку из легированной стали или использование микролегирования. В зависимости от выбора легированной стали возможно получить различный уровень прочностных и пластических свойств. Так, ГОСТ 5781-82 регламентирует производство проката арматурного из стали марок 25Г2С и 35ГС, а ГОСТ 34028-2016 предлагает использование легированной ванадием и молибденом стали.

Прокат арматурный можно производить нанесением профиля на термоупрочнённую катанку без промежуточной калибровки, но с последующей механо-циклической обработкой. Данная технология включает предварительную стадию деформации в первом калибре клетки круглой заготовки-катанки до получения сечения подобного треугольнику с закругленными вершинами для лучшего заполнения профильных канавок во втором калибре клетки и дальнейшее нанесение периодического профиля. В данной технологической схеме обязательной является операция рихтовки. Данная технология позволяет производить бунтовую арматуру любого периодического профиля при наличии соответствующих роликовых клеток. Это обеспечивает гибкий подход по удовлетворению требований потребителей по виду периодического профиля [34, 41]. Недостатком данной технологической схемы является необходимость использования термоупрочнённой заготовки, имеющей неблагоприятное исходное напряженное состояние.

Также для упрочнения горячекатаной арматуры с периодическим профилем можно использовать контролируемое охлаждение в потоке прокатного стана. Данная технология не только позволяет получить высокие

прочностные свойства, но и сохранить высокий запас пластичности проката арматурного за счёт замены холодного профилирования на горячее.

Процесс упрочнения арматуры холодной пластической деформацией может быть реализован через волочение катанки в твердосплавных монолитных волокнах в несколько проходов, последующем профилировании и формировании бунта [34, 42, 43]. Данный способ упрочнения характеризуется появлением растягивающих напряжений в металле, исключить которые можно с помощью дополнительных операций, например, знакопеременной деформации или отпуска, что, однако, удорожает технологию. Производство арматуры волочением не позволяет управлять технологическим процессом.

Для устранения части описанных недостатков данной технологической схемы можно с помощью замены волочения в монолитной волоке другим видом волочения, например, волочением в роликовой волоке. При этом для подготовки поверхности используется только удаление окалины в окалиноломателе, а также добавляется операция рихтовки. При данном способе волочения значительно снижаются тянущее усилие и коэффициент внешнего трения, так как реактивное трение между поверхностью проволоки и волочильным инструментом заменяется активно-реактивным трением. Развитие данного технологического процесса также, как и для технологии, основанной на волочении в монолитной волоке, связано с удорожанием и усложнением технологии.

Также упрочнение арматуры холодной пластической деформацией с высокой степенью деформации можно реализовать с использованием холодной прокатки. Применение холодной прокатки позволяет повысить качество проката арматурного, упрощает процесс деформации металла, повышает производительность и экономическую эффективность. При этом отпадает необходимость в промежуточной намотке проката в бунт, что предотвращает искажение периодического профиля, а также появление дополнительных напряжений. Захват заготовки валками при прокатке происходит автоматически, что исключает операцию острения, которая

является обязательной при волочении, отсутствует опасность обрывов металла [44]. Также, как и для волочения в роликовых волоках, для подготовки поверхности используется только окалиноломатель, и необходима операция рихтовки. Холоднокатаная арматура имеет лучшее сцепление с бетоном по сравнению с арматурой, полученной волочением, за счёт более развитого периодического профиля, поскольку имеется возможность прокатывать овальную заготовку.

Другим примером технологии является производство низкоуглеродистой проката арматурного способом «Stretching» из горячекатаного подката периодического профиля. Данная технология реализует способ упрочнения, основанный на холодной обработке горячекатаного проката периодического профиля в потоке производства со степенью деформации менее 5%. Данный способ позволяет реализовать преимущества как горячей прокатки холодной деформации – упрочнение проката арматурного при сохранении высокого запаса пластичности, а также формирование эффективного горячекатаного профиля [5, 6].

Использование способа «Stretching» позволяет:

- увеличение устойчивости процесса растяжения, устранение причины быстрого развития локализации деформации;
- увеличение прочностных характеристик с существенно меньшими потерями пластичности и затратами энергии за счет немонотонности деформации, уменьшения средней плотности дислокаций и неоднородности их распределения по объему [45];
- исключение эффекта Баушингера;
- снижение величины растягивающих напряжений на поверхности проката арматурного [46].

Недостатками данного способа являются отсутствие возможности производить арматуру с малым диаметром, а также то, что сортамент, арматуры производимой по схеме «Stretching», «привязан» к сортаменту прокатного стана, производящего заготовку.

Каждый из действующих нормативных документов на прокат арматурный предусматривает использование одной или нескольких технологий для производства арматуры. (табл. 1.2). Технологии названы в соответствии с лежащими в их основе способами упрочнения.

Таблица 1.2 – Стандарты и технологии производства проката арматурного

Нормативные и технические документы	Способ упрочнения, используемый в технологии
ГОСТ 6727-80*	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации
ГОСТ 5781-82*	Горячая прокатка легированной стали
ГОСТ 10884-94*	Профилирование термомеханически упрочнённой катанки
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	Профилирование термомеханически упрочнённой катанки
СТО АСЧМ 7-93*	Профилирование термомеханически упрочнённой катанки
	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации
ТУ 14-170-217-94	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации
ТУ 14-1-5254-2006	Профилирование термомеханически упрочнённой катанки
ТУ 14-1-5526-2006	Горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпуском
ТУ 14-1-5541-2006	Горячая прокатка легированной стали
ТУ 14-1-5596-2010	Профилирование термомеханически упрочнённой катанки
ТУ 14-1-5526-2006	Горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	Профилирование термомеханически упрочнённой катанки
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с последующим нанесением периодического профиля
ДТСУ 3760-2006	Горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана
EN 10080:2005	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации
	Горячая прокатка микролегированной стали с контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана
ГОСТ 34028-2016	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации
	Горячая прокатка микролегированной стали с контролируемым охлаждением и отпуском

* – данные нормативные документы не действуют, но фактически продолжают использоваться на производстве

Как видно из данных, представленных в табл. 1.2, данные нормативные документы регламентируют требования к прокату арматурному, производимому по широкой гамме технологических процессов, в основе которых лежат различные способы упрочнения. Наличие большого количества различных технологий, в основе которых лежат принципиально разные способы упрочнения, существующих для одного и того же вида продукции, говорит о необходимости разработки и использования на практике методики выбора наиболее эффективного технологического процесса.

1.4 Анализ методов оценки эффективности технологических процессов

Согласно ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации (ЕСТД). Термины и определения основных понятий» технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда [47]. В свою очередь, согласно ГОСТ 14.004-83 «Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий» производственный процесс – это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции [48].

В теории управления качеством существует большое количество методик, используемых для оценки уровня качества или конкурентоспособности продукции как выхода технологического процесса или уровень самого технологического процесса. Данные методики разработаны в рамках научных школ ведущих университетов Москвы, Санкт-Петербурга, Курска, Тулы, Магнитогорска и др.

Вопросы разработки систем оценки уровня качества и конкурентоспособности продукции рассматриваются в работах [49–63]. В

работах [64–70] развивается организационный подход к управлению качеством продукции. На сегодняшний день вопросы разработки квалиметрических моделей для производственных и технологических процессов рассмотрены в работах [71–97]. В представленных работах разработаны методы анализа результативности и эффективности технологических процессов металлообработки. Также существуют специализированные методы оценки и управления процессами металлургического производства. Данные методики представлены в работах [98–101].

Для решения данной задачи также используются такие методы как FMEA (используемый как для проведения анализа конструкции технического объекта, так и для анализа технологического процесса его производства [102–104]), QFD (используемый для преобразования требований потребителя в технические характеристики продукции, определения направления повышения качества и выявления наиболее значимых технологических операций [105–110]) и HSP (метод анализа возможности обеспечения стабильности и воспроизводимости процессов и качества продукции в рамках процесса ANPQP (от англ. Alliance New Product Quality Procedure) [111, 112]).

FMEA – метод проведения анализа конструкции технического объекта (Design FMEA) или технологического процесса (Process FMEA) для определения слабых мест и планирования корректирующих действий по их устранению [102, 104, 113–115]. Целью Process FMEA является улучшение процесса на основе анализа потенциальных несоответствий процесса с количественным анализом последствий и причин несоответствий.

Тем не менее для метода FMEA можно выделить несколько недостатков. Например, не учитывается различная значимость показателей качества продукции для потребителя. Также метод FMEA не оценивает, экономическую целесообразность внедрения мероприятий по результатам проведённого анализа.

Процедура ранжирования характеристик продукции и процесса НСРР, нацеленная на анализ возможности обеспечения заданного уровня стабильности и воспроизводимости процессов [111, 112], существенным преимуществом которой является то, что оценка проводится не только по показателям качества, но и по параметрам технологического процесса, а также определяется технологическая осуществимость операций на имеющемся оборудовании.

Для процедуры НСРР можно выделить следующие недостатки:

- При оценке технологических операций не учитывается степень их влияния на характеристики продукции.

- Отсутствие возможности сравнить между собой несколько вариантов технологических процессов.

Метод QFD – метод развертывания функции качества, заключающийся в преобразовании требований потребителя в показатели качества продукции и наиболее значимые технологические операции [105–110, 116, 117].

Преимуществом метода QFD является его широкое распространение, тем не менее он обладает определенными недостатками:

- Для данного метода характерно отсутствие возможности сравнить между собой несколько вариантов технологических процессов.

- Метод QFD является трудоёмким, что приводит к риску потери части значимых параметров.

Комплексная квалиметрическая оценка уровня качества метизов и уровня технологических процессов их производства, основанная на едином конструктивном принципе структурирования их свойств и системном подходе, рассмотрена в работе [77]. Тем не менее, данная методика не позволяет сравнить между собой разные варианты процессов производства одного типа продукции, основанные на разных способах ОМД.

Методика развертывания функции качества, основанная на декомпозиции качества продукции до уровня параметров технологических операций с использованием анализа иерархий и теории нечётких множеств, представлена

в работах [118, 119]. При анализе в иерархию качества включаются операции технологического процесса, а также производится учет взаимного влияния элементов. Важной отличительной особенностью данной методики является учет рисков технологического необеспечения показателей качества готовой продукции. Данная особенность используется для выявления специальных характеристик и определения ключевых операций технологического процесса. Также в рамках описанной методики предложен, подход квалитметрической оценки уровня качества операции технологического процесса, основанный на методе анализа иерархий. Недостатком данного подхода является то, что оценка проходит в рамках одного процесса и отсутствует возможность сравнить принципиально разные технологические процессы производства одного вида продукции.

Способ нахождения индекса конкурентоспособности рассмотрен в работе [120]. Он предлагает представление конкурентоспособности в виде суммы трёх показателей, характеризующих разные аспекты конкурентоспособности: показатель функциональных и потребительских свойств F , отражающий наличие или отсутствие в продукции конкретных показателей качества; показатель качества товара K , интегрально определяющий глубину его проработки по каждому из показателей F ; а также показатель затрат на производство C . Формула для определения индекса конкурентоспособности имеет вид

$$Q = \alpha_1 F + \alpha_2 K + \alpha_3 C. \quad (1.1)$$

Данный подход позволяет оценить только уровень конкурентоспособности продукции и не позволяет оценить технологический процесс.

Разработанная на основе математического аппарата квалитметрии методика комплексной количественной оценки результативности технологических процессов предложена в работах [78, 121]. Данная методика

оценивает результативность как обеспечение требуемого уровня качества. Оценка производится по формулам для расчета комплексного показателя результативности сквозных технологий. Данная методика апробированна для штампованных шаровых пальцев. Также в работах [78, 121] предложен подход для выбора критериев, используемых при оценки результативности СМК на предприятии на основе использования математической модели.

При анализе эффективности и результативности технологических процессов с использованием подхода квалиметрической оценки вариантов технологии, описанного в работах [85, 86], используются зависимости, принципиально схожие с описанным выше. Реализация предложенного автором подхода комплексной оценки качества и технологических процессов производства позволяет на основе объективной оценки осуществить выбор рациональных технологических режимов производства в рамках одного технологического процесса.

В работе [122] предложена методика комплексной оценки технологических процессов на основе комплексной оценки качества продукции как единого количественного критерия уровня процесса. При анализе уровня технологических процессов критерием для выбора технологического процесса из нескольких существующих варианта является максимальное значение рассчитанного показателя. Методика позволяет выбрать рациональную схему технологического процесса, при этом выбор решения, снижающего итоговый результат оценки, является нерациональным.

Подход к комплексной квалиметрической оценке результативности технологических процессов с использованием логики антонимов отличается от рассмотренных ранее тем, что для оценки результативности была введена качественная функция, формализованная в определениях и понятиях алгебры логических оценок [123, 124]. В работе предложена номенклатура показателей эффективности технологического процесса, которая включает две группы показателей: требования потребителя к качеству готовой продукции и специальные требования к технологии. Также в рамках описываемой

методики предложена иерархическая структура комплексной оценки эффективности процессов и функция свертки, основанная на аксиоматике логики оценок. Данная методика базируется на расчёте вероятности получения готовой продукции с требуемым уровнем качества.

Методика квалиметрической оценки результативности технологических процессов, основанная на оценке уровня выхода годной продукции по всем показателям качества и учитывающая весомости данных показателей качества для потребителя, представлена в работах [125, 126]. Для оценки результативности технологического процесса используется ряд показателей, основным из которых является показатель «взвешенная вероятность выхода несоответствующей продукции».

Для определения ключевой операции процесса производства высокопрочной арматуры для железобетонных шпал предложена методика оценки результативности технологического процесса, описанная в работе [127]. Совершенствование ключевой операции должно приводить к достижению требуемого уровня качества готовой продукции или к его повышению, позволяющая обоснованно выбрать и реализовать технологические резервы. При этом используется функционально-целевой подход и принимается, что каждая функция направлена на достижение определённого результата.

Методика комплексной оценки действенности технологии волочения канатной проволоки и свивки канатов с учетом показателей дефектности, представлена в работе [128]. В рамках данной методики введены коэффициенты дефектности канатной проволоки и канатов, которые отражают наличие или отсутствие дефектов в анализируемой продукции, а также введены показатели дефектности как канатной проволоки, так и готовых канатов, которые характеризуют уровень достижения показателями заготовки и технологическими параметрами процесса производства определённых значений с учетом их потенциального влияния на возникновение дефектов готовой продукции. Также в рамках данной работы усовершенствована

методика оценки результативности функционирования СМК предприятия.

Подход, включающий критерии оценки, непосредственно связанные с регламентированными показателями качества прокатной продукции, обеспечивающие модульность, преемственность, прослеживаемость и т.д. представлен в работе [129]. Данная методика оценивает как показатели качества готовой продукции, так и показатели технологии.

Задача получения комплексных оценок также решалась в разных областях и отраслях знаний [130–136]: в области принятия решений, исследования операций, теории выбора, теории прогнозирования, теории измерений, теории эффективности и т.д. Применение решений из перечисленных областей знаний для оценки эффективности технологических процессов вызывает определённые затруднения, связанные с их адаптацией и неопределенности их адекватности решению новых задач.

Существуют методы, позволяющие оценить частные показатели технологических процессов. Например, методы оценки надежности технологических процессов приведены в работе [137]. ГОСТ 27.202-83 содержит ряд методов для решения широкого спектра инженерных задач по оценке технологических процессов. Вместе с тем, приведенные методы требуют адаптации для решения конкретных задач.

Для оценки конкурентоспособности отрасли и предприятий внутри этой отрасли используется методика консультационной американской фирмы «Дан энд Брэдстрит» [55]. Предметом анализа здесь выступают три группы показателей. Достоинством этого метода является использование показателей работы предприятия. Вместе с тем метод не лишён недостатков:

- он не учитывает дифференциацию важности отдельных показателей в оценке;
- использование большого числа показателей, нередко дублирующих друг друга, осложняет проведение анализа;
- в этом методе не учитываются качество продукции и цена.

В то же время широко применяются «классические» методы оценки уровня качества продукции как выхода технологического процесса: диаграмма Исикавы [138], метод ранжирования причин [139], диаграмма Парето [140] и др.

Однако следует отметить что, существующие методы как правило направлены либо на оценку выхода технологического процесса, либо на оценку отдельных показателей действующего технологического процесса, и не позволяют сравнить между собой технологии, различающиеся по содержанию операций [141].

1.5 Выводы. Постановка цели и задач исследования

1. Прокат арматурный является востребованным видом металлопродукции, находящий применение в различных областях и характеризующийся широкой номенклатурой по таким показателям как вид поставки, классы прочности и пластичности, марки стали и вид профиля. На сегодняшний день существует большое количество нормативных и технических документов на прокат арматурный, регламентирующих его свойства.

2. Для производства конкурентоспособного проката арматурного производителям необходимо иметь возможность производства арматуры с номенклатурой свойств, которая определяется в первую очередь наличием трёх категорий прочности и трёх категорий пластичности. Это обеспечивается используемым способом упрочнения.

3. На сегодняшний день промышленностью освоено большое количество технологических процессов производства проката арматурного с использованием различных способов упрочнения. Данные технологии позволяют получить прокат арматурный с различным набором свойств. При этом производителю необходимо иметь возможность количественно оценить эффективность разных технологических процессов с точки зрения

возможности производить прокат арматурный, конкурентоспособный на рынке металлопродукции.

4. Существующие методы, используемые для оценки эффективности технологических процессов, направлены либо на оценку качества готовой продукции, т.е. выхода процесса, либо на оценку отдельных показателей действующего технологического процесса. При этом сравнение между собой различающихся по содержанию операций технологических процессов, в основе которых лежат принципиально отличающиеся способы ОМД, затруднено или невозможно.

На основании проведенного исследования были сформулированы следующие цель и задачи.

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

Данная цель реализуется решением следующих задач:

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

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

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

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

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

2.1 Факторы, определяющие эффективность технологических процессов

В настоящее время отечественные металлургические предприятия испытывают острую потребность в повышении конкурентоспособности выпускаемой продукции и, как следствие, в современных технологиях, модернизации оборудования. В процессе проектирования и производства продукции производитель прогнозирует, какие потребительские свойства необходимо заложить в товар [120]. Данные свойства должны быть реализованы в ходе технологического процесса.

Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» под эффективностью понимается соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Достигнутый результат определяется уровнем качества готовой продукции, а использованные ресурсы определяются затратами и зависит непосредственно от особенностей технологического процесса. Технологический процесс должен отвечать требованиям рыночных отношений, а также обладать совокупностью характеристик, в которых отражаются преимущества данного технологического процесса от технологических процессов конкурентов [142].

Целью любого технологического процесса является производство продукции заданного уровня качества с минимальным уровнем затрат. Оценку эффективности технологических процессов в рамках данного диссертационного исследования предлагается проводить по трём группам показателей: показатели качества готовой продукции, показатели, характеризующие непосредственно сам оцениваемый процесс и показатели затрат на изготовление продукции.

Поскольку приведённые группы показателей являются комплексными, и их можно разделить на несколько частных показателей, то оценку эффективности технологических процессов целесообразно осуществлять с использованием методов и подходов квалиметрии.

Показатели качества продукции характеризуют её соответствие нормативной и технической документации и уровень значений этих показателей по сравнению с аналогами. Данные показатели целесообразно выбирать из требований, регламентированных в соответствующей нормативной и технической документации на данный вид продукции. Например, для металлоизделий частными показателями качества будут являться следующие [143]:

- сортамент продукции;
- геометрические параметры, размеры и допускаемые отклонения;
- механические свойства, к которым относятся прочностные (предел текучести, временное сопротивление разрыву и т.д.), пластические свойства (полное относительное удлинение при максимальной нагрузке, относительное равномерное удлинение после разрыва, относительное удлинение после разрыва и т.д.) и др.;
- химический состав стали, определяемый содержанием углерода, основных и легирующих элементов и вредных примесей;
- прочие показатели, характеризующие качество металлоизделий, например, наличие металлического покрытия или вид профиля проката арматурного.

Показатели технологического процесса могут включать как показатели, характеризующие непосредственно сам технологический процесс, так и показатели, характеризующие возможность обеспечения показателей качества продукции [144].

Показатели затрат на изготовление продукции могут определяться как экономическими показателями [145], так и, например, через энергозатраты [146], работу деформации и т.д.

Длительность производственного цикла определяется временем нахождения изделия в технологическом процессе, начиная от момента запуска его в производство до выпуска в виде готовой продукции. Особое значение с точки зрения выявления внутрипроизводственных резервов имеет оценка длительности производственного цикла по сравнению с ее уровнем на родственных отраслевых предприятиях-конкурентах [147].

Показатель длительности производственного цикла может быть определён как отношение суммы затрат прошлого труда, живого труда и будущего труда к суммарному полезному эффекту товара у потребителя за нормативный срок службы [148, 149].

Цена однотипных товаров может существенно различаться в зависимости от производителя, рынка сбыта и т.д. Поэтому при оценке экономической составляющей эффективности целесообразно использовать более универсальный показатель. В качестве такого показателя могут использоваться затраты труда [147].

Также следует отметить, что цена, как интегральный критерий затрат, характеризует стоимость потребления товара, а также целый ряд показателей, связанных с приобретением товара, его использованием и сервисом. В стоимость потребления входят расходы на эксплуатацию или коммерческое использование товара в виде затрат на эксплуатацию, ремонт и обслуживание.

Если рассматривать прокат арматурный, то его свойства и издержки на производство зависят от требований нормативной и технической документации и параметров заготовки, поступающей в технологический процесс. Иными словами, свойства проката арматурного во многом формируются в ходе основных операций технологического процесса, к которым относятся способы обработки металлов давлением (ОМД) и термическая обработка, которые обеспечивает получение необходимой структуры металла и свойств проката арматурного. Тем не менее, в теории технологического наследования операции термообработки принято считать «технологическими барьерами» [150], которые ликвидируют наследственные

связи, действовавшие в данном технологическом процессе, и процесс производства начинается как бы сначала. Также термическая обработка увеличивает продолжительность производственного цикла и приводит к росту затрат на производство. Поэтому технологические процессы должны проектироваться с минимально необходимым количеством промежуточных термообработок [33]. С этой точки зрения при оценке эффективности технологического процесса необходимо учитывать не только количество технологических операций, но и процессы, которые лежат в основе той или иной операции.

Главной особенностью данной методики является возможность системной оценки технологического процесса. Это позволяет сделать выводы о конкурентоспособности выпускаемой продукции, её качестве, прогрессивности применяемого технологического процесса, уровне затрат на производство по сравнению с аналогичными технологическими процессами производства данного вида продукции как по отдельным частным показателям (например, по пределу текучести или временному сопротивлению), так и по обобщённым группам показателей анализируемого технологического процесса (например, прочностные или пластические свойства выпускаемой продукции).

2.2 Разработка методики расчёта индекса эффективности технологического процесса

Для оценки эффективности технологического процесса предлагается использовать индекс эффективности. Смысл данного подхода заключается в представлении разнородных частных показателей, используемых при оценке эффективности в виде сопоставимых безразмерных величин [151]. Данный индекс позволяет учесть системный характер технологических процессов и позволяет свести разнородные показатели к единому критерию для оценки.

Поскольку при оценке эффективности технологического процесса необходимо учесть влияние большого количества разных по своей сути показателей, то целесообразно их объединить в следующие группы: показатели прогрессивности и уровня качества продукции, показатели уровня прогрессивности технологического процесса и показатели уровня затрат на производство. Это позволит присвоить каждой рассматриваемой группе соответствующий индекс [152, 153]. На рис. 2.1 представлена принципиальная структура индексов, определяющих уровень эффективности технологического процесса.

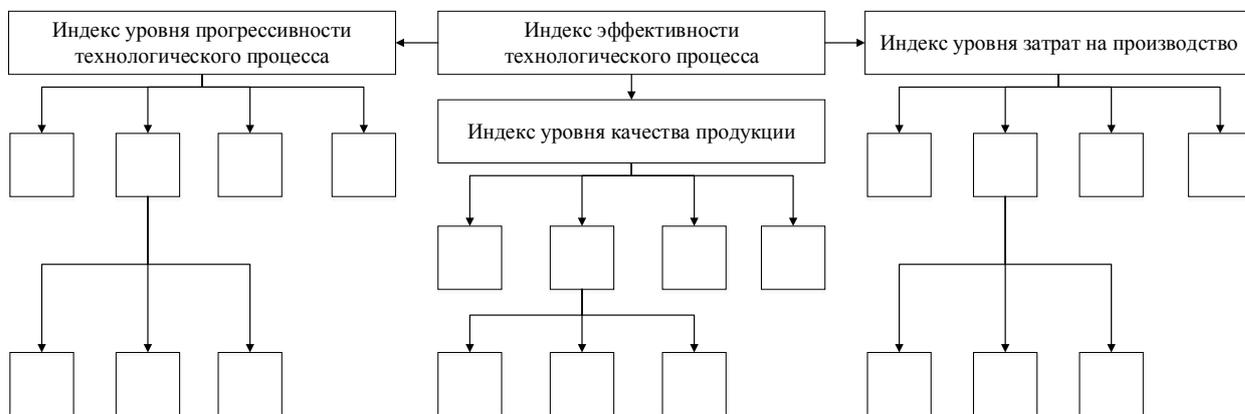


Рисунок 2.1 – Структура определения индекса эффективности технологического процесса

При этом каждая из групп показателей в случае необходимости может быть разделена на подгруппы. Причём в таком случае для данных подгрупп также присваиваются соответствующие индексы (например, индекс прочностных свойств, индекс пластических свойств и другие индексы в зависимости от выбранных для оценки показателей). Для каждого частного показателя, входящего в подгруппы, также присваиваются индексы (например, индекс предела текучести, индекс временного сопротивления разрыву и т.д.). Тогда станет возможным проведение системной оценки сравниваемых технологических процессов как по отдельным показателям, так и по группам показателей.

В соответствии с разрабатываемым подходом индекс эффективности технологического процесса определяется по формуле [154–158]

$$I = \alpha_1 Q + \alpha_2 E + \alpha_3 C, \quad (2.1)$$

где Q – индекс прогрессивности и уровня качества продукции;

E – индекс уровня прогрессивности применяемого процесса;

C – индекс уровня затрат на производство;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые коэффициенты индексов Q, E, C , соответственно. При этом должно выполняться условие $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$.

Также индекс может быть рассчитан как средневзвешенный геометрический показатель по следующей формуле

$$I = Q^{\alpha_1} \cdot E^{\alpha_2} \cdot C^{\alpha_3}. \quad (2.2)$$

Индекс эффективности технологического процесса может принимать значения в интервале от 0 до 1.

Важно отметить, что выбор формулы для расчета индекса эффективности технологического процесса выбирают таким образом, чтобы результаты расчета соответствовали целям оценки эффективности и последующему управлению ей, т.е. должно выполняться так называемое условие состоятельности [145].

При выборе зависимости, по которой будет осуществляться дальнейшая свёртка, необходимо учитывать следующую особенность: при использовании формулы свертывания по средневзвешенному геометрическому оценка обращается в 0 в том случае, если хотя бы один из частных показателей в кодированном виде равен 0. Это обеспечивает выполнения свойства «вето» [77]. Стоит отметить, что данное свойство не выполняется при использовании формулы средневзвешенного арифметического. Таким образом формулу (2.2)

следует применять в случае необходимости более строгой оценки, когда требуется, чтобы в нормативной документации на оцениваемую продукцию регламентировались все свойства. В случае, если нормативные документы регламентируют разный набор свойств продукции, то целесообразно использовать формулу (2.1).

Коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ характеризуют значимость каждого из частных индексов для субъекта оценки. Под значимостью понимается степень влияния данного показателя свойства на эффективность технологического процесса. Правильность и точность установления коэффициента весомости имеют исключительно важное значение для результатов оценки эффективности технологического процесса. Для определения значений коэффициентов весомости при расчёте индекса эффективности технологического процесса применяются аналитические и экспертные методы, например, по ГОСТ 24294-81 и ГОСТ 23554-79 [145].

Рассмотрим сущность каждого индекса, определяющего эффективность технологического процесса. Индекс прогрессивности и уровня качества продукции Q характеризует степень соответствия показателей продукции требованиям нормативной и технической документации, а также уровень того, на сколько высоки данные требования. Индекс прогрессивности и уровня качества продукции определяется следующим образом

$$Q = \beta_{Q1}Q_1 + \beta_{Q2}Q_2 + \dots + \beta_{Qn}Q_n, \quad (2.3)$$

где Q – индекс прогрессивности и уровня качества продукции;

Q_1, Q_2, \dots, Q_n – единичные индексы показателей прогрессивности и уровня качества продукции;

$\beta_{Q1}, \beta_{Q2}, \dots, \beta_{Qn}$ – коэффициенты весомости единичных показателей качества продукции.

Данный индекс также может быть определён как средневзвешенный геометрический показатель по следующей зависимости

$$Q = Q_1^{\beta_{Q_1}} \cdot Q_2^{\beta_{Q_2}} \cdot \dots \cdot Q_n^{\beta_{Q_n}}. \quad (2.4)$$

В случае если частные индексы качества продукции Q_1, Q_2, \dots, Q_n являются комплексными, то они также определяются как суммы произведений единичных показателей качества на соответствующие им коэффициенты весомости. В случае если индексы не являются комплексными, то в зависимости от их характера они могут быть определены либо по соответствующим квалиметрическим шкалам или пропорционально от базовых показателей (т.е. наивысших показателей сравниваемых видов продукции), либо по следующим формулам

$$Q_i = \frac{P_i}{P_{i \text{ баз}}}, \quad (2.5)$$

$$Q_i = \frac{P_{i \text{ баз}}}{P_i}, \quad (2.6)$$

где P_i – численное i -го значение показателя качества,

$P_{i \text{ баз}}$ – значение i -го показателя качества базовой модели.

Определение значений индексов Q_i по формулам (2.5) и (2.6) или по квалиметрическим шкалам в дальнейшем будет называться кодированием.

Индексы Q_i могут принимать значения в диапазоне от 0 до 1.

Индекс уровня прогрессивности технологического процесса E характеризует технологические особенности производства. Он определяется следующим образом

$$E = \beta_{E1}E_1 + \beta_{E2}E_2 + \dots + \beta_{Em}E_m, \quad (2.7)$$

где E_1, E_2, \dots, E_m – единичные индексы показателей технологического процесса;

$\beta_{E1}, \beta_{E2}, \dots, \beta_{Em}$ – коэффициенты весомости единичных показателей технологического процесса.

В случае необходимости данный индекс может быть определён как как средневзвешенный геометрический показатель по следующей формуле

$$E = E_1^{\beta_{E1}} \cdot E_2^{\beta_{E2}} \cdot \dots \cdot E_m^{\beta_{Em}}. \quad (2.8)$$

Индексы E_i могут принимать значения в диапазоне от 0 до 1.

Индекс затрат на производство характеризует затраты на изготовление продукции и может быть определён с использованием следующей зависимости

$$C = \beta_{C1}C_1 + \beta_{C2}C_2 + \dots + \beta_{Ck}C_k, \quad (2.9)$$

где C_1, C_2, \dots, C_k – частные индексы, характеризующие уровень затрат на производство продукции;

$\beta_{C1}, \beta_{C2}, \dots, \beta_{Ck}$ – коэффициенты весомости частных индексов затрат на производство продукции.

Как и два предыдущих индекса, данный индекс может быть также определён как средневзвешенный геометрический показатель по следующей зависимости

$$C = C_1^{\beta_{C1}} \cdot C_2^{\beta_{C2}} \cdot \dots \cdot C_k^{\beta_{Ck}}. \quad (2.10)$$

Индексы C_i могут принимать значения в диапазоне от 0 до 1.

Кроме того, для оценки можно использовать частные индексы Q, E, C по отдельности, если не требуется оценка по всем параметрам. Например,

используя индексы прогрессивности уровня качества продукции и уровня затрат на производство, можно определить уровень конкурентоспособность продукции.

2.3 Построение алгоритма определения индекса эффективности технологического процесса

Таким образом определение индекса эффективности технологического процесса состоит из следующей последовательности действий.

На первом этапе определяются цели проводимого исследования. Далее осуществляется выбор продукции или стандартов на продукцию и соответствующих технологических процессов для проведения оценки. На этом этапе следует определить способ свёртки единичных показателей (по формуле среднего арифметического или среднего геометрического в зависимости от того, допускается ли в нормативных документах на продукцию отсутствие регламентации каких-либо показателей качества).

На следующим этапе строится структурная схема индекса эффективности технологического процесса, содержащая ранее определённую номенклатуру свойств продукции, показатели уровня технологического процесса и показатели затрат на производство продукции. Важно отметить, что данная схема может содержать как частные показатели, так и комплексные, включающие в себя несколько частных показателей.

Далее требуется определить индексы Q , E и C , характеризующие прогрессивность и уровень качества продукции, уровень прогрессивности и уровень затрат на производство, соответственно.

Индекс прогрессивности и уровня качества продукции Q определяется следующим образом (рис. 2.2).

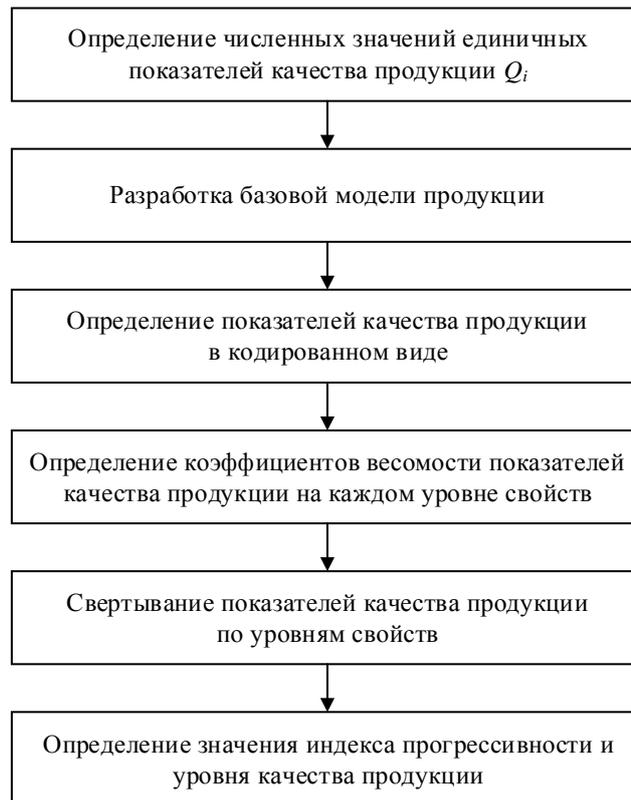


Рисунок 2.2 – Блок-схема для определения индекса прогрессивности и уровня качества продукции

На первом этапе определения индекса Q показатели качества продукции ранжируются в зависимости от степени их влияния на выполняемые производством функции по степени значимости на нижнем уровне схемы структуры индекса качества продукции и оцениваются локальными коэффициентами $\beta_{Q_1}, \beta_{Q_2}, \dots, \beta_{Q_n}$. При этом $\beta_{Q_1} + \beta_{Q_2} + \dots + \beta_{Q_n} = 1$.

Аналогичным образом ранжируются и оцениваются соответствующими коэффициентами группы показателей качества на каждом уровне свойств продукции.

Далее следует этап разработки базовой модели продукции, которая характеризуется набором значений соответствующих свойств. В рамках данного диссертационного исследования базовой считается такая модель, которая имеет предельные значения свойств (W_{max} и/или W_{min}), регламентируемые в нормативной или технической документации. Для максимальных значений свойств Q_j принимаются $W_{max} = 1$, а $W_{min} = 0$

принимается в случае, если в нормативной или технической документации отсутствуют требования по показателю Q_j .

Определение кодированных значений показателей качества определяются либо по формулам (2.5) или (2.6), либо, в случае, если данные показатели являются не количественными, а качественными, по шкалам наименований или порядка.

Определение численного значения индекса уровня качества продукции осуществляется путём свёртывания схемы структуры индекса качества продукции по формуле (2.3) или (2.4).

На рис. 2.3 представлена блок-схема для определения индекса уровня прогрессивности технологического процесса E .



Рисунок 2.3 – Блок-схема для определения индекса уровня прогрессивности технологического процесса

Данный подход аналогичен способу определения индекса уровня прогрессивности и уровня качества продукции.

Оценка индекса прогрессивности технологического процесса E начинается с ранжирования показателей технологического процесса в зависимости от степени их влияния на выход годного. Единичные показатели, характеризующие прогрессивность технологического процесса, оцениваются локальными коэффициентами $\beta_{E1}, \beta_{E2}, \dots, \beta_{Em}$. При этом должно выполняться следующее условие $\beta_{E1} + \beta_{E2} + \dots + \beta_{Em} = 1$.

Далее ранжируются и оцениваются соответствующими коэффициентами весомости группы показателей, характеризующие прогрессивность технологического процесса на каждом уровне структуры показателей технологического процесса.

На следующем этапе оценки разрабатывается базовая модель технологического процесса, состоящая из наилучших количественных показателей для измеряемых величин и баллов для оцениваемых величин.

После разработки базовой модели следует определение кодированных значений показателей прогрессивности технологического процесса. Для количественных показателей кодированные значения определяются пропорционально от значений базовой модели, для количественных – по установленным шкалам наименований или порядка.

Нахождение численного значения индекса прогрессивности технологического процесса производится путём свёртывания схемы структуры показателей технологического процесса по формуле (2.7) или (2.8).

На рис. 2.4 представлена блок-схема для определения индекса затрат на производство продукции



Рисунок 2.4 – Блок-схема для определения индекса затрат на производство

Данный подход аналогичен способам определения индексов Q и E . На первом этапе определения индекса C выбирается номенклатура показателей для оценки затрат.

Далее также, как и в случае с двумя ранее рассмотренными индексами Q и E , для определения индекса затрат на производство C производится ранжирование показателей затрат по степени их влияния на совокупные затраты на производство. Единичным показателям затрат на производство присваиваются локальные коэффициенты весомости $\beta_{C1}, \beta_{C2}, \dots, \beta_{Ck}$. При этом должно выполняться условие $\beta_{C1} + \beta_{C2} + \dots + \beta_{Ck} = 1$.

Также присваиваются коэффициенты весомости для групп показателей затрат на каждом уровне структуры затрат на производство.

Далее определяется базовая модель затрат на производство, включающая наименьшие затраты по соответствующим группам.

На следующем этапе производится кодирование значений показателей затрат на качество. Кодированные значения определяются либо пропорционально от значений базовой модели (для количественных показателей), либо по установленным шкалам (для качественных показателей).

Далее определяется индекс затрат на производство путём свёртывания схемы структуры показателей затрат по формуле (2.9) или (2.10).

Определение итогового значения индекса уровня эффективности I для оцениваемых технологических процессов осуществляется по формуле (2.1) или (2.2) в зависимости от выбранного способа свёртывания единичных показателей.

На заключительном этапе проводится анализ полученных результатов оценки, определяется степень их соответствия целям проведения исследования и формулируются рекомендации для оцениваемых технологических процессов в соответствии с ранее установленными целями оценки.

Приведённый алгоритм в графической интерпретации представлен на рис. 2.5 [159].

Следует отметить, что при оценке возможно использовать все рассмотренные индексы, характеризующие прогрессивность и уровень качества продукции, уровень прогрессивности и уровень затрат на производство. Например, использование индексов Q и C позволяют оценить конкурентоспособность продукции, а использование только одного индекса Q , E или C позволяет оценить один из аспектов эффективности технологического процесса, если нет необходимости оценивать ее как единый показатель.

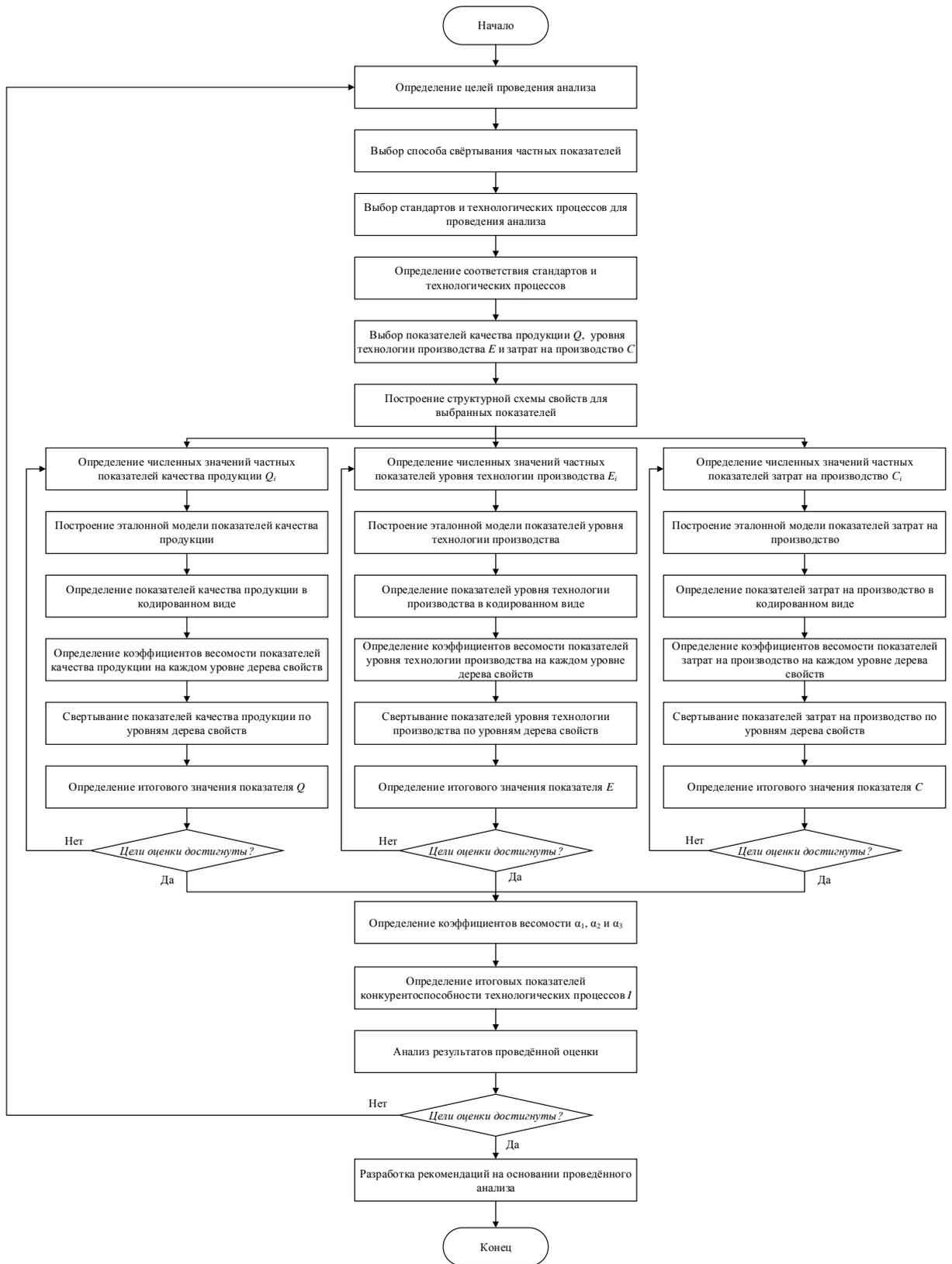


Рисунок 2.5 – Алгоритм оценки эффективности технологического процесса

Данная методика применима для металлургической продукции, для которой существуют несколько вариантов технологических процессов производства или действуют несколько различных нормативных или технических документов. Использование предлагаемой методики позволит выбрать наиболее эффективный технологический процесс производства металлопродукции.

2.4 Определение коэффициентов весомости частных показателей эффективности технологических процессов

Для объективной оценки уровня эффективности технологических процессов необходимо определить весомость каждого единичного показателя, входящего в индекс. Чтобы определить, какие из них в большей мере влияют на эффективность, используют один из следующих методов.

В случае, если при построении структурной схемы индекса эффективности технологического процесса частные показатели были сгруппированы на одном уровне, то для определения показателей весомости могут быть использованы любые известные методы:

- метод стоимостных регрессионных зависимостей;
- метод регрессионных зависимостей;
- метод регрессионных зависимостей между затратами на создание и эксплуатацию продукции и исходными показателями качества продукции;
- метод эквивалентных соотношений;
- метод предельных и номинальных значений и т.д.

В случае, если структурная схема включает показатели, сгруппированные на нескольких уровнях, данные методы неприменимы, поскольку на более высоких уровнях схемы все показатели представлены уже в кодированном виде. В таком случае целесообразно использовать метод экспертной оценки. Экспертный метод определения параметров весомости основан на использовании мнений специалистов-экспертов. Эксперты определяют

численное значение весомости в баллах. Для оценки могут использоваться различные методы, например, метод попарного сопоставления, метод последовательных сопоставлений, метод предпочтения, метод ранжирования. Чаще всего используют последний. Ранжирование заключается в упорядочении оцениваемых показателей, например, в порядке уменьшения их значимости [160].

В рамках данного исследования для решения данной проблемы предлагается адаптировать существующие методы для использования показателей в кодированном виде. Например, для метода предельных и номинальных значений формулу можно адаптировать следующим образом. Для средневзвешенного арифметического показателя формула примет следующий вид

$$\beta_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1 - \bar{Q}_i}{1 - \bar{Q}_i}}. \quad (2.11)$$

Для средневзвешенного геометрического показателя весомость может определяться по формуле

$$\beta_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\log(1/\bar{Q}_i)}{\log(1/\bar{Q}_i)}}. \quad (2.12)$$

В данных зависимостях в качестве предельных значений показателей было принято значение 1, а в качестве номинального – среднее арифметическое кодированных значений для каждого показателя качества. Это позволит использовать данную зависимость на каждом из уровней структурной схемы индекса эффективности технологического процесса.

При использовании зависимости (2.5) наиболее значимыми будут признаны показатели с наибольшим разбросом значений. В случае, если наиболее значимыми являются показатели с наименьшим разбросом, то целесообразно использовать следующую формулу

$$\beta_i = \frac{1 - Q_i}{\sum_{i=1}^n (1 - Q_i)}. \quad (2.13)$$

Поскольку разработанной методике необходимо проводить группировку частных показателей по уровням, то наиболее рациональными методами определения коэффициентов весомости будут экспертный метод и метод предельных и номинальных значений. Выбор способа определения коэффициентов весомости осуществляется лицом, проводящим оценку.

Преимуществами предлагаемой методики являются:

- гибкость модели, т.е. возможность оценить эффективность технологического процесса, конкурентоспособность или качество продукции;
- при появлении новых показателей, используемых в оценке, имеется возможность оперативно адаптировать модель к новому набору показателей.

К недостаткам относится:

- при использовании требований нормативных и технических документов в качестве показателей при определении индекса уровня качества продукции не учитывается как реализуются данные показатели при эксплуатации;
- повторный расчёт индекса эффективности технологического процесса без изменения набора показателей для оценки не приводит к изменению результатов.

2.5 Выбор показателей для оценки эффективности технологического процесса производства проката арматурного

Как было показано в главе 1, для производства проката арматурного могут быть использованы различные технологические схемы, основанные на процессах горячей прокатки и холодной обработки давлением горячекатаного проката. Использование индекса эффективности технологического процесса целесообразно именно в случае столь разнообразного спектра технологических возможностей для производства одного и того же вида металлопродукции. Рассмотрим особенности применения разработанной методики оценки эффективности технологического процесса на примере анализа существующих методов производства проката арматурного.

Показатели, составляющие структуру индекса эффективности технологического процесса производства проката арматурного, представлены на рис. 2.6.

Показатели качества, включенные в данную схему, были выбраны из нормативной и технической документации на прокат арматурный. Следует отметить, что показатели качества, характеризующие прочностные свойства (предел текучести, временное сопротивление разрыву и отношение временного сопротивления к пределу текучести), пластические свойства (полное относительное удлинение при максимальной нагрузке, относительное равномерное удлинение после разрыва и относительное удлинение после разрыва), а также углеродный эквивалент регламентируются по трем классам прочности, определяемых пределом текучести (400, 500 и 600 МПа) и трём категориям пластичности, определяемых полным относительным удлинением при максимальной нагрузке (2,5; 5,0; 7,5 %) [161, 162].

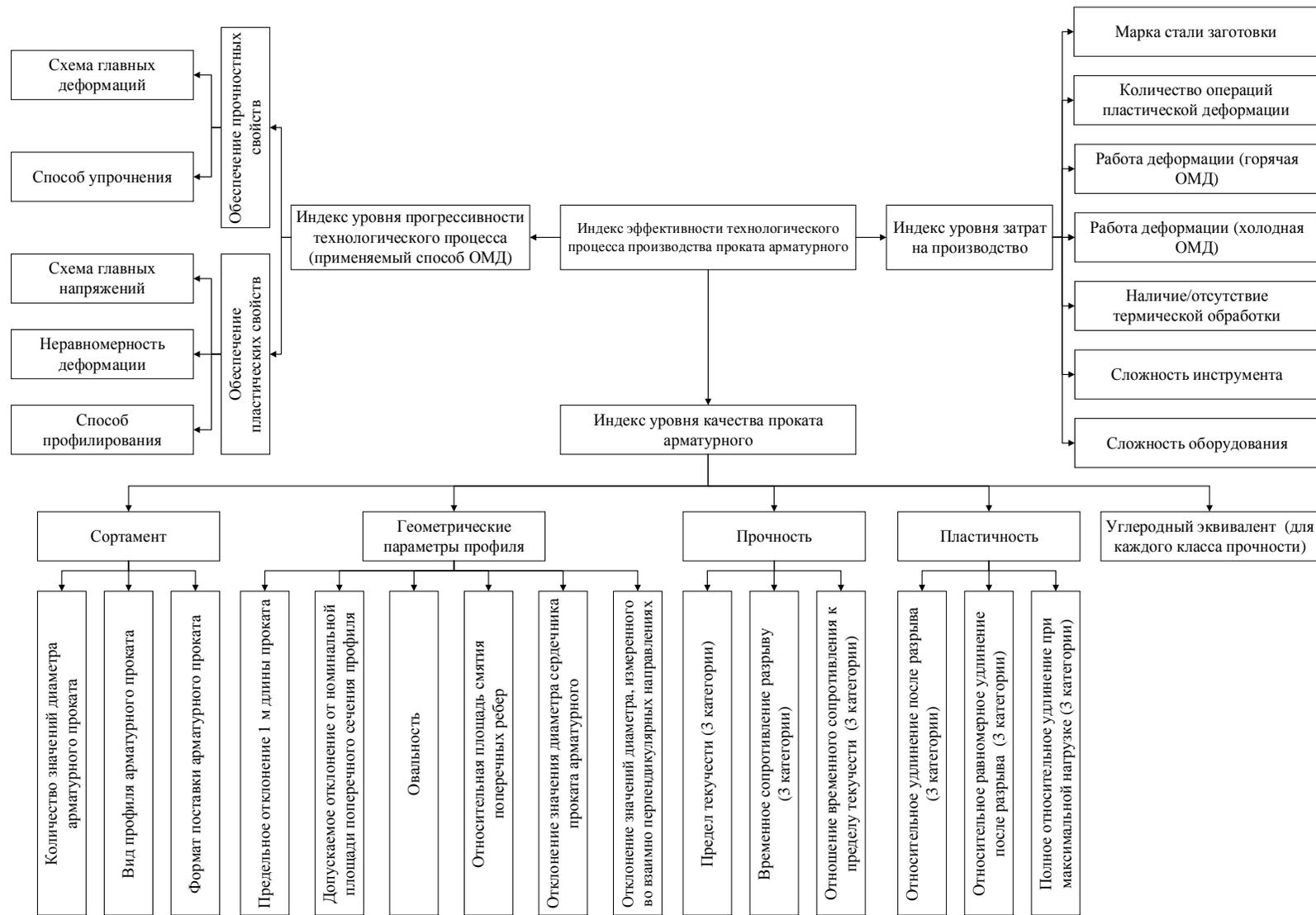


Рисунок 2.6 – Структура индекса эффективности технологического процесса производства проката арматурного

Данная схема отражает требования стандартов на прокат арматурный, показатели, характеризующие способ ОМД, лежащий в основе технологического процесса (схемы главных деформаций и напряжений, способ упрочнения, неравномерность деформации и способ профилирования) и обобщённые показатели затрат (марка стали, количество операций холодной пластической деформации, удельная работа деформации как при горячей, так и при холодной ОМД, наличие или отсутствие термообработки, а также сложность оборудования и инструмента).

2.6 Выводы

1. Показано, что для оценки эффективности технологических процессов с точки зрения производства конкурентоспособной продукции необходимо учитывать следующие показатели: 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. При этом каждый из этих показателей является комплексным и состоит из ряда частных показателей. Это позволяет использовать численные значения каждого из показателей, что является основой для оценки эффективности технологического процесса в целом.

2. Для расчета эффективности технологического процесса введено понятие «индекс эффективности технологического процесса», который рассчитывается как алгебраическая сумма индекса прогрессивности и уровня качества продукции, индекса уровня прогрессивности технологического процесса и индекса уровня затрат на производство, умноженных на соответствующие весовые коэффициенты. Используя принципы квалиметрии, предложен диапазон значений для каждого из этих индексов в интервале от 0 до 1. Значения данных индексов рассчитываются как средневзвешенные геометрические показатели. Для возможности сравнения

различных по физической природе величин разработан прием их кодирования. Кодированная величина рассчитывается как отношение номинального значения показателя к соответствующему показателю базовой модели. При этом базовая модель составлена из наибольших/наименьших значений всех величин, используемых для анализа.

3. Разработан алгоритм оценки эффективности технологического процесса, состоящий из следующих этапов: выбор ряда технологических процессов производства одного вида продукции, определение нормативных и технических документов, регламентирующих требования к данному виду продукции, построение общей структурной схемы индекса эффективности технологического процесса, расчет индекса прогрессивности и уровня качества продукции, индекса уровня прогрессивности технологического процесса и индекса уровня затрат на производство. Данный алгоритм можно использовать для сравнения ряда технологических процессов, по которым производится один вид продукции, что позволяет определить наиболее эффективный из них с точки зрения обеспечения конкурентоспособности продукции.

4. Построена структура индекса эффективности технологического процесса производства проката арматурного. Поскольку данный вид металлопродукции используется для армирования бетона, то для расчета индекса уровня качества выбраны следующие показатели: сортамент, геометрические параметры профиля, прочность, пластичность, углеродный эквивалент. Определение индекса уровня прогрессивности технологического процесса основано на возможности обеспечения прочностных и пластических свойств соответствующим способом обработки металлов давлением. Индекс уровня затрат на производство определяется, исходя из количества операций пластической деформации, работы деформации, наличия или отсутствия операции термической обработки, сложности оборудования и инструмента. Данная структура обусловлена применяемыми в промышленных условиях технологическими процессами, основанными на методах горячей и холодной

обработки давлением, наличием большого количества действующей нормативной и технической документации на прокат арматурный, а также широкой номенклатурой различных классов прочности и категорий пластичности.

ГЛАВА 3. РАСЧЁТ УРОВНЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА АРМАТУРНОГО

Согласно разработанному подходу (см. рис. 2.6 п. 2.5) для определения уровня эффективности технологического процесса необходимо рассчитать индекс уровня качества индекс уровня прогрессивности технологического процесса и индекс уровня затрат на производство. Рассмотрим особенности определения соответствующих индексов для производства проката арматурного.

3.1 Расчёт индекса уровня качества проката арматурного

Для определения значения индекса прогрессивности и уровня качества проката арматурного был проведён анализ требований следующих нормативных документов: национальный стандарт [163], межгосударственные стандарты [164–167], технические условия [168–172], стандарт Республики Беларусь [173], стандарт Украины [174], а также европейский стандарт [175].

Из данных нормативных и технических документов были взяты следующие группы показателей: сортамент проката арматурного, геометрические параметры профиля, характеристики прочности и пластичности, а также углеродный эквивалент.

3.1.1 Расчёт индекса сортамента проката арматурного

Сравнение показателей сортамента проката арматурного представлено в табл. 3.1. Сравнение стандартов произведено с учётом того, что согласно СТБ 1704-2006 сортамент зависит вида периодического профиля проката

арматурного, и ГОСТ Р 52544-2006 регламентирует наличие двух классов проката арматурного (А500 и В500).

Таблица 3.1 – Сравнение сортамента проката арматурного, регламентируемого в различных нормативных документах

Нормативный документ	Сортамент	Формат поставки	Профиль
ГОСТ 6727-80	От 3,0 до 5,0; 3 диаметра	Бухты	Двухсторонний с выступами
ГОСТ 5781-82	От 6,0 до 80,0; 20 диаметров	Бухты и стержни	Круговой
ГОСТ 10884-94	От 6,0 до 40,0; 14 диаметров	Бухты и стержни	Серповидный не замкнутый
ГОСТ Р 52544-2006 (В500)	От 4,0 до 12,0; 6 диаметров	Бухты и стержни	Серповидный не замкнутый
ГОСТ Р 52544-2006 (А500)	От 6,0 до 40,0; 14 диаметров	Бухты и стержни	Серповидный не замкнутый.
СТО АСЧМ 7-93	От 6,0 до 40,0; 14 диаметров	Бухты и стержни	Серповидный не замкнутый
ТУ 14-170-217-94	От 3,0 до 14,0; 23 диаметров	Бухты и стержни	Серповидный не замкнутый
ТУ 14-1-5254-2006	От 6,0 до 60,0; 18 диаметров	Бухты	Двухсторонний с выступами
ТУ 14-1-5541-2006	От 6,0 до 40,0; 14 диаметров	Бухты и стержни	Серповидный не замкнутый
ТУ 14-1-5596-2010	От 10 до 40; 12 диаметров	Стержни	Серповидный не замкнутый
ТУ 14-1-5526-2006	От 10 до 28; 9 диаметров	Стержни	Серповидный замкнутый
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	От 6,0 до 40,0; 14 диаметров	Бухты и стержни	Серповидный не замкнутый
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	От 4,0 до 14,0; 9 диаметров	Бухты и стержни	Двухсторонний с выступами
ДТСУ 3760-2006	От 5,5 до 40,0; 15 диаметров	Бухты и стержни	Круговой
EN 10080:2005	От 4,0 до 50,0; 23 диаметров	Бухты и стержни	Круговой
ГОСТ 34028-2016	От 4,0 до 40,0; 27 диаметров	Бухты и стержни	Круговой

Согласно анализируемым нормативным документам сортамент проката арматурного достаточно широк: от 3,0 до 60,0 мм, который может поставляться как в бухтах, так и в виде стержней. Как видно из табл. 3.1, стандарты, устанавливающие требования к проволоке арматурной регламентируют только формат поставки в виде бухт, например, ГОСТ 6727-80 и ТУ 14-1-5254-2006. В свою очередь стандарты на прокат арматурный ГОСТ 34028-2016 или ГОСТ Р 52544-2006 регламентируют поставку как в

виде стержней и бухт, либо только в виде стержней (ТУ 14-1-5526-2006 и ТУ 14-1-5596-2010). Также стоит отметить, что для проволоки арматурной регламентируется только двухсторонний профиль с выступами, в то время как прокат арматурный может производиться с серповидным и круговым профилями.

Сравнение сортамента, регламентируемого в нормативной и технической документации на прокат арматурный, представлено в табл. 3.2.

Таблица 3.2. – Сравнение сортамента проката арматурного в нормативной и технической документации

Нормативный документ	Диаметр, мм		Количество регламентируемых значений	Max–min
	Минимум	Максимум		
ГОСТ 6727-80	3,0	5,0	3,0	2,0
ГОСТ 5781-82	6,0	80,0	20,0	74,0
ГОСТ 10884-94	6,0	40,0	14,0	34,0
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	4,0	12,0	6,0	8,0
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	6,0	40,0	14,0	34,0
СТО АСЧМ 7-93	6,0	40,0	14,0	34,0
ТУ 14-170-217-94	3,0	14,0	23,0	11,0
ТУ 14-1-5254-2006	6,0	60,0	18,0	54,0
ТУ 14-1-5541-2006	6,0	40,0	14,0	34,0
ТУ 14-1-5596-2010	10,0	40,0	12,0	30,0
ТУ 14-1-5526-2006	10,0	28,0	9,0	18,0
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	6,0	40,0	14,0	34,0
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	4,0	14,0	9,0	10,0
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	5,5	40,0	15,0	34,5
EN 10080:2005	4,0	50,0	23,0	46,0
ГОСТ 34028-2016	4,0	40,0	27,0	36,0

При эксплуатации проката арматурного наиболее эффективными являются замкнутые профили [5]. Наилучшее сцепление с бетоном обеспечивает серповидный замкнутый профиль. Наименее эффективным видом профиля является двухсторонний профиль с выступами. На основании данного анализа в данном исследовании предлагается использовать шкалу, представленную в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Шкала для оценки видов профилей проката арматурного

Профиль	Значение
Двухсторонний с выступами	0,25
Серповидный не замкнутый	0,50
Круговой	0,75
Серповидный замкнутый	1,00

Формат поставки проката арматурного является очень важной экономической составляющей для прямых потребителей. Бухтовой формат поставки по сравнению со стержневым может обеспечить не только практическое исключение обрезки при дифференцированном раскрое на мерные длины. Он обеспечивает наилучшую эффективность в индустриализации процессов механизированного производства сварных и других унифицированных изделий и заготовок [5]. Наилучшим вариантом будет регламентация в стандарте обоих вариантов поставки проката арматурного.

На основании данного анализа для оценки формата поставки предлагается использовать шкалу, представленную в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Шкала для оценки формата поставки проката арматурного

Формат поставки	Значение
Стержни	0,4
Бухты	0,6
Бухты и стержни	1,0

Для определения показателей в кодированном виде была составлена базовая модель, представленная в табл. 3.5. Базовая модель включает наибольшее количество регламентируемых в стандартах значений диаметра проката арматурного, максимальную разность между наибольшим и наименьшим значениями регламентируемых диаметров, два варианта формата поставки и наиболее эффективный вид периодического профиля.

Таблица 3.5 – Базовая модель для сортамента проката арматурного в нормативной и технической документации

	Количество регламентируемых значений	Max–min	Формат поставки	Вид профиля
Базовая модель	27	74	Бухты и стержни	Серповидный замкнутый

На основании полученной базовой модели и предлагаемых шкал были определены показатели сортамента в кодированном виде. Показатели в кодированном виде, характеризующие номенклатуру значений диаметров, регламентируемых в нормативных документах, и размах (разность между наибольшими и наименьшими диаметрами), определены по формуле (2.5). Значения показателей, характеризующих формат поставки и вид профиля, определены в соответствии с данными, представленными в табл. 3.3 и 3.4. Кодированные значения показателей сортамента представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Кодированные значения показателей сортамента проката арматурного

Нормативный документ	Количество диаметров	Размах	Формат поставки	Вид профиля
ГОСТ 6727-80	0,111	0,027	0,600	0,250
ГОСТ 5781-82	0,741	1,000	1,000	0,750
ГОСТ 10884-94	0,519	0,456	1,000	0,500
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,222	0,108	1,000	0,500
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,519	0,456	1,000	0,500
СТО АСЧМ 7-93	0,519	0,456	1,000	0,500
ТУ 14-170-217-94	0,852	0,149	0,600	0,250
ТУ 14-1-5254-2006	0,667	0,730	1,000	0,500
ТУ 14-1-5541-2006	0,519	0,456	1,000	0,500
ТУ 14-1-5596-2010	0,444	0,405	0,400	0,500
ТУ 14-1-5526-2006	0,333	0,243	0,400	1,000
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,519	0,456	1,000	0,500
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,333	0,135	1,000	0,250
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,556	0,466	1,000	0,750
EN 10080:2005	0,852	0,622	1,000	0,750
ГОСТ 34028-2016	1,000	0,487	1,000	0,750

Наибольшие значения показателей в кодированном виде соответствуют стандартам, регламентирующим наибольшее количество диаметров и разность между наибольшими и наименьшими диаметрами, а также поставку в виде бухты и в виде стержней, а также наличие серповидного замкнутого профиля.

Для данных показателей качества по формуле (2.11) были определены показатели весомости, приведённые табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Коэффициенты весомости для показателей сортамента проката арматурного

Показатель	Количество	Размах	Формат поставки	Вид профиля
Значение коэффициента весомости	0,148	0,112	0,599	0,141

В табл. 3.8 представлены значения индексов сортамента для анализируемых нормативных документов, рассчитанные по формуле (2.3).

Таблица 3.8 – Значения индекса сортамента проката арматурного

Нормативный документ	Индекс
ГОСТ 6727-80	0,414
ГОСТ 5781-82	0,926
ГОСТ 10884-94	0,798
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,714
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,798
СТО АСЧМ 7-93	0,798
ТУ 14-170-217-94	0,537
ТУ 14-1-5254-2006	0,850
ТУ 14-1-5541-2006	0,798
ТУ 14-1-5596-2010	0,421
ТУ 14-1-5526-2006	0,457
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,798
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,699
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,839
EN 10080:2005	0,900
ГОСТ 34028-2016	0,907

Как видно из данных табл. 3.8, наибольшие значения индекса сортамента имеют ГОСТ 34028-2016, EN 10080:2005 и ГОСТ 5781-82 поскольку они регламентируют широкий диапазон диаметров, наличие двух видов форматов поставки проката арматурного и круговой периодический профиль.

3.1.2 Расчёт индекса геометрических параметров профиля проката арматурного

В табл. 3.9 представлено сравнение геометрических параметров периодического профиля, регламентируемых в различных видах нормативной и технической документации на примере проката арматурного диаметром 12 мм, поскольку прокат данного диаметра может производиться с использованием горячей прокатки, а также упрочнением в холодном состоянии. При этом в ГОСТ 10884-94, ТУ 14-1-5254-2006 и ГОСТ 34028-2016 данные показатели регламентируются для нормального и повышенного уровней точности геометрических размеров профиля.

Таблица 3.9 – Сравнение геометрических параметров проката арматурного диаметром 12 мм, регламентируемых в различных видах нормативной и технической документации

Нормативный документ	Допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля	Предельное отклонение 1 м длины проката	Относительная площадь смятия поперечных ребер	Овальность	Отклонение значения диаметра сердечника проката арматурного	Отклонение значений диаметра, измеренного во взаимно перпендикулярных направлениях
ГОСТ 6727-80	—*	—	—	—	—	—
ГОСТ 5781-82	—	–6;+5	—	0,8	–0,5;+0,3	–1,5;+1,3
ГОСТ 10884-94 (нормальная точность)	—	–6;+5	—	2,5	—	–1,6;+0,9
ГОСТ 10884-94 (повышенная точность)	—	–6;+5	—	1,2	—	±0,6
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	±4,5	±4,5	0,056	1	–0,5;+0,3	±0,6

Нормативный документ	Допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля	Предельное отклонение 1 м длины проката	Относительная площадь смятия поперечных ребер	Овальность	Отклонение значения диаметра сердечника проката арматурного	Отклонение значений диаметра, измеренного во взаимно перпендикулярных направлениях
ГОСТ Р 52544-2006 (А500)	±5	±5	0,056	1,2	-0,5;+0,3	±0,6
СТО АСЧМ 7-93	-	±5	0,056	1,2	-	±0,6
ТУ 14-170-217-94	-	±3	-	0,48	-	-
ТУ 14-1-5254-2006 (нормальная точность)	-	±5	0,056	2,2	-	±1,1
ТУ 14-1-5254-2006 (повышенная точность)	-	±5	0,056	1,2	-	±0,6
ТУ 14-1-5541-2006	-	-6;+5	0,056	2,5	-	-1,6;+0,9
ТУ 14-1-5596-2010	±5	±5	0,056	1,2	-0,5;+0,3	±0,6
ТУ 14-1-5526-2006	-	±5	0,075	1,2	-	-1,6;+0,9
СТБ 1704-2006 (профили. 1 и 4)	-	±6	0,056	2,5	-	-
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	-	±6	0,056	-	-	-
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	-	-6;+5	0,056	1,2	-	-
EN 10080:2005	-	±4,5	0,056	-	-	-
ГОСТ 34028-2016 (ОМ1**, ОВ2**, профили 3 и 4)	-	±6	0,056	2,5	-	±0,6
ГОСТ 34028-2016 (ОМ2**, ОВ1** профили 1 и 2)	-	-1;-6	0,056	1,2	-0,5;+0,3	-

* знак «-» означает, что данный показатель не регламентируется

** ОВ1, ОМ1, ОВ2, ОМ2 – овальность и допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля повышенной точности и нормальной точности, соответственно

Как видно, допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля регламентируют только ГОСТ Р 52544-2006 и ТУ 14-1-5596-2010. Наибольшее значение относительной площади смятия поперечных ребер регламентируется в ТУ 14-1-5526-2006, поскольку данный нормативный документ предусматривает изготовление проката арматурного с серповидным замкнутым периодическим профилем.

Следующим этапом оценки было определение значений базовой модели на основании представленного сравнительного анализа. Выбор численных значения базовой модели (табл. 3.10) был основан на том, что значение относительной площади смятия поперечных ребер должно быть

максимальным, а остальные значения, характеризующие отклонения других показателей геометрического профиля, минимальными.

Таблица 3.10 – Значения геометрических показателей для базовой модели профиля проката арматурного

	Допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля	Предельное отклонение 1 м длины проката	Относительная площадь смятия поперечных ребер	Овальность	Отклонение значения диаметра сердечника проката арматурного	Отклонение значений диаметра, измеренного во взаимно перпендикулярных направлениях
Базовая модель	±4,5	-1;-6	0,056	0,48	-0,5;+0,3	±0,6

На следующем этапе были определены кодированные значения геометрических показателей профиля. Результаты кодирования представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11 – Кодированные значения показателей геометрических параметров и параметров массы проката арматурного

Нормативный документ	Допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля	Предельное отклонение 1 м длины проката	Относительная площадь смятия поперечных ребер	Овальность	Отклонение значения диаметра сердечника проката арматурного	Отклонение значений диаметра, измеренного во взаимно перпендикулярных направлениях
ГОСТ 6727-80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ГОСТ 5781-82	0,000	0,546	0,000	0,600	1,000	0,429
ГОСТ 10884-94 (нормальная точность)	0,000	0,546	0,000	0,192	0,000	0,480
ГОСТ 10884-94 (повышенная точность)	0,000	0,546	0,000	0,400	0,000	1,000
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	1,000	0,666	0,747	0,480	1,000	1,000
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,900	0,600	0,747	0,400	1,000	1,000
СТО АСЧМ 7-93	0,000	0,600	0,747	0,400	0,000	1,000
ТУ 14-170-217-94	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000

Продолжение таблицы 3.11

Нормативный документ	Допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля	Предельное отклонение 1 м длины проката	Относительная площадь смятия поперечных ребер	Овальность	Отклонение значения диаметра сердечника проката арматурного	Отклонение значений диаметра, измеренного во взаимно перпендикулярных направлениях
ТУ 14-1-5254-2006 (нормальная точность)	0,000	0,600	0,747	0,218	0,000	0,546
ТУ 14-1-5254-2006 (повышенная точность)	0,000	0,600	0,747	0,400	0,000	1,000
ТУ 14-1-5541-2006	0,000	0,546	0,747	0,192	0,000	0,480
ТУ 14-1-5596-2010	0,900	0,600	0,747	0,400	1,000	1,000
ТУ 14-1-5526-2006	0,000	0,600	1,000	0,192	0,000	0,480
СТБ 1704-2006 (профили. 1 и 4)	0,000	0,500	0,747	0,192	0,000	0,000
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,000	0,500	0,747	0,000	0,000	0,000
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,000	0,546	0,747	0,400	0,000	0,000
EN 10080:2005	0,000	0,667	0,747	0,000	0,000	0,000
ГОСТ 34028-2016 (OM1*, OB2*, профили 3 и 4)	0,000	0,500	0,747	0,192	0,000	1,000
ГОСТ 34028-2016 (OM2*, OB1* профили 1 и 2)	0,000	0,857	0,747	0,400	1,000	0,000

* OB1, OM1, OB2, OM2 – овальность и допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля повышенной точности и нормальной точности, соответственно

Для данных показателей профиля по формуле (2.11) были рассчитаны коэффициенты весомости, представленные в табл. 3.12.

Таблица 3.12 – Коэффициенты весомости геометрических показателей профиля проката арматурного

Геометрические показатели профиля проката арматурного	Допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля	Предельное отклонение 1 м длины проката	Относительная площадь смятия поперечных ребер	Овальность	Отклонение значения диаметра сердечника проката арматурного	Отклонение значений диаметра, измеренного во взаимно перпендикулярных направлениях
Значение коэффициента весомости	0,110	0,223	0,215	0,138	0,127	0,186

В случае, если в нормативном документе не регламентируется какой-либо геометрический показатель профиля, то ему присваивалось значение 0.

В табл. 3.13 представлены расчётные значения индексов показателей геометрических параметров профиля проката арматурного. Данные значения были получены по формуле (2.3).

Таблица 3.13 – Обобщенные значения индекса показателей геометрических параметров профиля проката арматурного

Нормативный и технический документ	Индекс
ГОСТ 6727-80	0,000
ГОСТ 5781-82	0,412
ГОСТ 10884-94 (нормальная точность)	0,238
ГОСТ 10884-94 (повышенная точность)	0,363
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,799
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,762
СТО АСЧМ 7-93	0,536
ТУ 14-170-217-94	0,361
ТУ 14-1-5254-2006 (нормальная точность)	0,426
ТУ 14-1-5254-2006 (повышенная точность)	0,536
ТУ 14-1-5541-2006	0,398
ТУ 14-1-5596-2010	0,762
ТУ 14-1-5526-2006	0,465
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,299
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,272
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,338
EN 10080:2005	0,310
ГОСТ 34028-2016 (OM1*, OB2*, профили 3 и 4)	0,485
ГОСТ 34028-2016 (OM2*, OB1* профили 1 и 2)	0,535

* OB1, OM1, OB2, OM2 – овальность и допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения профиля повышенной точности и нормальной точности, соответственно

Как видно из полученных данных, наибольшие значения индексов соответствуют ГОСТ Р 52544-2006 и ТУ 14-1-5596-2010, поскольку они регламентируют широкую номенклатуру видов профилей.

3.1.3 Расчёт индекса прочности проката арматурного

В табл. 3.14 представлены данные по регламентации прочностных свойств проката арматурного в анализируемых нормативных и технических документах. Следует отметить, что в соответствии с современными мировыми требованиями прокат арматурный производится трёх категорий прочности,

соответствующих пределу текучести: 400, 500 и 600 МПа. Если анализируемом нормативном документе то или иное значение не регламентируется, то это обозначено в табл. 3.14 как «Не регламентируется».

Таблица 3.14 – Особенности регламентации механических свойств проката арматурного в действующей нормативной и технической документации

Нормативный документ	Предел текучести σ_t , МПа	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	Отношение временного сопротивления к пределу текучести σ_b/σ_t
ГОСТ 6727-80	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	490	Не регламентируется	Не регламентируется
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
ГОСТ 5781-82	390	590	Не регламентируется
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	590	883	Не регламентируется
ГОСТ 10884-94	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	500	600	Не регламентируется
	600	800	Не регламентируется
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	500	550	1,05
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	500	600	1,08
СТО АСЧМ 7-93	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	400	480	1,05
	500	550	1,05
ТУ 14-170-217-94	600	660	1,05
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	500	550	1,03
ТУ 14-1-5254-2006	600	660	1,03
	400	500	1,10
	500	600	1,10
ТУ 14-1-5541-2006	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	390	590	Не регламентируется
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
ТУ 14-1-5596-2010	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	600	740	1,08
ТУ 14-1-5526-2006	400	480	1,05
	500	550	1,05
	600	660	1,05
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	500	Не регламентируется	1,08
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется

Продолжение табл. 3.14

Нормативный документ	Предел текучести σ_T , МПа	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Отношение временного сопротивления к пределу текучести σ_B/σ_T
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	500	Не регламентируется	1,05
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	400	500	1,05
	500	600	1,05
	600	800	1,05
EN 10080:2005	400	500	1,05
	500	600	1,08
	600	800	1,15
ГОСТ 34028-2016	400	Не регламентируется	1,10
	500	Не регламентируется	1,05
	600	Не регламентируется	1,05

Как видно из табл. 3.14, некоторые стандарты, например, EN 10080:2005 или СТО АСЧМ 7-93, регламентируют все выбранные показатели прочности для всех категорий прочности, тогда как ГОСТ 6727-80 регламентирует только предел текучести и только на уровне близком к категории прочности 500 МПа.

На следующем этапе оценки были определены значения для базовой модели. Значения прочностных показателей базовой модели соответствуют максимальным значениям свойств, регламентируемых в стандартах (табл. 3.15).

Таблица 3.15 – Значения показателей прочностных свойств базовой модели проката арматурного

Прочностные показатели	Предел текучести σ_T , МПа	Временное сопротивление σ_B , МПа	Отношение временного сопротивления к пределу текучести, σ_B/σ_T
Значения показателей базовой модели	400	590	1,3
	500	600	1,3
	600	883	1,3

Значения данной базовой модели выбраны из наилучших значений показателей прочности во всех анализируемых нормативных документах и не соответствуют требованиям какого-либо одного стандарта.

Следующим этапом анализа было определение значений показателей в кодированном виде (табл. 3.16). Значения определялись по формуле (2.5).

Таблица 3.16 – Показатели прочностных свойств проката арматурного в кодированном виде

Нормативный документ	Предел текучести σ_T	Временное сопротивление σ_B	Отношение временного сопротивления к пределу текучести σ_B/σ_T
ГОСТ 6727-80	0,000	0,000	0,000
	0,980	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
ГОСТ 5781-82	0,975	1,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
	0,983	1,000	0,000
ГОСТ 10884-94	0,000	0,000	0,000
	1,000	1,000	0,000
	1,000	0,906	0,000
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,917	0,808
	0,000	0,000	0,000
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,000	0,000	0,000
	1,000	1,000	0,831
	0,000	0,000	0,000
СТО АСЧМ 7-93	1,000	0,814	0,808
	1,000	0,917	0,808
	1,000	0,748	0,808
ТУ 14-170-217-94	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,917	0,792
	1,000	0,748	0,792
ТУ 14-1-5254-2006	1,000	0,848	0,846
	1,000	1,000	0,846
	0,000	0,000	0,000
ТУ 14-1-5541-2006	0,975	1,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
ТУ 14-1-5596-2010	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,838	0,831
ТУ 14-1-5526-2006	1,000	0,814	0,808
	1,000	0,917	0,808
	1,000	0,748	0,808
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	0,831
	0,000	0,000	0,000

Продолжение табл. 3.16

Нормативный документ	Предел текучести σ_T	Временное сопротивление σ_B	Отношение временного сопротивления к пределу текучести σ_B/σ_T
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	0,808
	0,000	0,000	0,000
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	1,000	0,848	0,808
	1,000	1,000	0,808
	1,000	0,906	0,808
EN 10080:2005	1,000	0,848	0,808
	1,000	1,000	0,831
	1,000	0,906	0,885
ГОСТ 34028-2016	1,000	0,000	0,846
	1,000	0,000	0,808
	1,000	0,000	0,808

В случае, если стандарт не регламентирует какой-либо показатель, то ему присваивалось значение 0. Для свёртывания трёх категорий показателей прочности в единые показатели, характеризующие предел текучести, временное сопротивление разрыву и отношение временного сопротивления разрыву к пределу текучести были рассчитаны коэффициенты весомости (табл. 3.17). Расчёт коэффициентов весомости производился по формуле (2.11).

Таблица 3.17 – Значения коэффициентов весомости для каждой категории показателей прочности проката арматурного

	Предел текучести σ_T	Временное сопротивление σ_B	Отношение временного сопротивления к пределу текучести σ_B/σ_T
Значение коэффициента весомости (категория 400 МПа)	0,208	0,293	0,274
Значение коэффициента весомости (категория 500 МПа)	0,554	0,393	0,431
Значение коэффициента весомости (категория 600 МПа)	0,238	0,313	0,295

Индексы, характеризующие предел текучести, временное сопротивление разрыву и отношение временного сопротивления разрыву к пределу текучести, представлены в табл. 3.18.

Таблица 3.18 – Индексы прочностных свойств проката арматурного

Нормативный документ	Предел текучести σ_T	Временное сопротивление σ_B	Отношение временного сопротивления к пределу текучести σ_B/σ_T
ГОСТ 6727-80	0,543	0,000	0,000
ГОСТ 5781-82	0,437	0,607	0,000
ГОСТ 10884-94	0,792	0,677	0,000
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,554	0,360	0,348
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,554	0,393	0,358
СТО АСЧМ 7-93	1,000	0,833	0,808
ТУ 14-170-217-94	0,792	0,595	0,576
ТУ 14-1-5254-2006	0,762	0,642	0,596
ТУ 14-1-5541-2006	0,203	0,293	0,000
ТУ 14-1-5596-2010	0,238	0,263	0,245
ТУ 14-1-5526-2006	1,000	0,833	0,808
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,554	0,000	0,358
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,554	0,000	0,348
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	1,000	0,926	0,808
EN 10080:2005	1,000	0,926	0,840
ГОСТ 34028-2016	1,000	0,000	0,818

Наибольшие значения индексов получены для стандартов, регламентирующих все категории прочностных свойств. Для свертывания индексов, характеризующих предел текучести, временное сопротивление разрыву и отношение временного сопротивления разрыву к пределу текучести, в индекс прочности проката арматурного были рассчитаны коэффициенты весомости, представленные в табл. 3.19. Для определения коэффициентов весомости была использована формула (2.11).

Таблица 3.19 – Значения коэффициентов весомости индексов прочности проката арматурного

Показатель	Предел текучести σ_T	Временное сопротивление σ_B	Отношение временного сопротивления к пределу текучести σ_B/σ_T
Значение коэффициента весомости	0,469	0,272	0,259

В табл. 3.20 представлены значения индекса прочности проката арматурного, рассчитанные по формуле (2.3).

Таблица 3.20 – Рассчитанные значения индекса прочности проката арматурного

Нормативный документ	Индекс
ГОСТ 6727-80	0,255
ГОСТ 5781-82	0,370
ГОСТ 10884-94	0,556
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,448
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,460
СТО АСЧМ 7-93	0,905
ТУ 14-170-217-94	0,682
ТУ 14-1-5254-2006	0,686
ТУ 14-1-5541-2006	0,175
ТУ 14-1-5596-2010	0,247
ТУ 14-1-5526-2006	0,905
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,353
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,350
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,930
EN 10080:2005	0,938
ГОСТ 34028-2016	0,681

Как видно из табл. 3.20, наибольшее значение индекса прочности получено для стандартов, регламентирующих все выбранные показатели прочностных свойств для всех категорий прочности проката арматурного. Небольшие отличия в значениях индексов объясняются тем, что отношение временного сопротивления к пределу текучести в них регламентируется различными численными значениями.

3.1.4 Расчёт индекса пластичности проката арматурного

Сравнение показателей пластичности проката арматурного представлено в табл. 3.21 с учётом того, что в действующей нормативной и технической документации регламентируются три категории пластичности,

соответствующие полному относительному удлинению при максимальной нагрузке: 2,5, 5,0 и 7,5 %.

Таблица 3.21 – Особенности регламентации пластических свойств проката арматурного в действующей нормативной и технической документации

Нормативный документ	Относительное удлинение после разрыва δ_5 , %	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_r , %	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max} , %
ГОСТ 6727-80	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ГОСТ 5781-82	14 Не регламентируется 6	Не регламентируется Не регламентируется 2,0	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ГОСТ 10884-94	Не регламентируется 14 12	Не регламентируется Не регламентируется 4,0	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	2,5 Не регламентируется Не регламентируется
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	Не регламентируется 14 Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
СТО АСЧМ 7-93	16 14 12	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	2,5 Не регламентируется Не регламентируется
ТУ 14-170-217-94	Не регламентируется 14 12	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ТУ 14-1-5254-2006	16 14 Не регламентируется	2,0 2,0 Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ТУ 14-1-5541-2006	14 Не регламентируется Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ТУ 14-1-5596-2010	Не регламентируется Не регламентируется 14	Не регламентируется Не регламентируется 4,0	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ТУ 14-1-5526-2006	16 14 12	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется	2,5 Не регламентируется Не регламентируется

Продолжение табл. 3.21

Нормативный документ	Относительное удлинение после разрыва δ_5 , %	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_p , %	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max} , %
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
	14	Не регламентируется	5,0
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	Не регламентируется	Не регламентируется	2,5
	12	Не регламентируется	Не регламентируется
	Не регламентируется	Не регламентируется	Не регламентируется
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	16	Не регламентируется	0
	14	Не регламентируется	5
	12	Не регламентируется	0
EN 10080:2005	Не регламентируется	Не регламентируется	2,5
	Не регламентируется	Не регламентируется	5,0
	Не регламентируется	Не регламентируется	7,5
ГОСТ 34028-2016	16	2,0	2,5
	14	2,0	5,0
	10	2,0	7,0

Как видно из представленных в табл. 3.21 данных, ГОСТ 34028-2016 регламентирует почти все выбранные показатели для всех категорий пластичности. В свою очередь ГОСТ 6727-80 не регламентирует ни одного из выбранных показателей.

Следующим этапом оценки было определение базовой модели на основании представленного сравнительного анализа. Значения базовой модели (табл. 3.22) выбраны в соответствии с максимальными требованиями рассматриваемых нормативных документов.

Таблица 3.22 – Значения показателей пластических свойств базовой модели проката арматурного

Пластические показатели	Относительное удлинение после разрыва δ_5 , %	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_p , %	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max} , %
Базовая модель	1,3	2,0	2,5
	1,3	2,0	5,0
	1,3	4,0	7,5

На следующем этапе анализа по формуле (2.5) были определены значения показателей в кодированном виде, которые представлены в табл. 3.23.

Таблица 3.23 – Кодированные значения пластических показателей проката арматурного

Нормативный документ	Относительное удлинение после разрыва δ_5	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_p	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max}
ГОСТ 6727-80	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
ГОСТ 5781-82	0,875	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
	0,429	0,500	0,000
ГОСТ 10884-94	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	0,000
	0,857	1,000	0,000
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,000	0,000	1,000
	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
СТО АСЧМ 7-93	1,000	0,000	1,000
	1,000	0,000	0,000
	0,857	0,000	0,000
ТУ 14-170-217-94	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	0,000
	0,857	0,000	0,000
ТУ 14-1-5254-2006	1,000	1,000	0,000
	1,000	1,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
ТУ 14-1-5541-2006	0,875	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
ТУ 14-1-5596-2010	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
	1,000	1,000	0,000
ТУ 14-1-5526-2006	1,000	0,000	1,000
	1,000	0,000	0,000
	0,857	0,000	0,000

Продолжение табл. 3.23

Нормативный документ	Относительное удлинение после разрыва δ_5	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_p	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max}
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	1,000
	0,000	0,000	0,000
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,000	0,000	1,000
	0,857	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	1,000	0,000	0,000
	1,000	0,000	1,000
	0,857	0,000	0,000
EN 10080:2005	0,000	0,000	1,000
	0,000	0,000	1,000
	0,000	0,000	1,000
ГОСТ 34028-2016	1,000	1,000	1,000
	1,000	1,000	1,000
	0,714	0,500	0,933

В случае, если стандарт не регламентирует какой-либо показатель, то ему присваивалось значение равное 0.

Для свертывания значений трёх категорий показателей пластичности в единые показатели, характеризующие полное относительное удлинение при максимальной нагрузке, относительное равномерное удлинение после разрыва и относительное удлинение после разрыва, были определены коэффициенты весомости (табл. 3.24). Коэффициенты весомости рассчитывались по формулам (2.11) и (2.13)

Таблица 3.24 – Значения коэффициентов весомости для каждой категории показателей пластичности

	Относительное удлинение после разрыва δ_5	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_p	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max}
Значение коэффициента весомости	0,288	0,325	0,277
Значение коэффициента весомости	0,434	0,325	0,333
Значение коэффициента весомости	0,278	0,350	0,390

Значения индексов, характеризующие полное относительное удлинение при максимальной нагрузке, относительное равномерное удлинение после разрыва и относительное удлинение после разрыва, представлены в табл. 3.25.

Таблица 3.25 – Индексы пластических свойств проката арматурного

Нормативный документ	Относительное удлинение после разрыва δ_5	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_p	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max}
ГОСТ 6727-80	0,000	0,000	0,000
ГОСТ 5781-82	0,371	0,175	0,000
ГОСТ 10884-94	0,672	0,350	0,000
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,000	0,000	0,277
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,434	0,000	0,000
СТО АСЧМ 7-93	0,960	0,000	0,277
ТУ 14-170-217-94	0,672	0,000	0,000
ТУ 14-1-5254-2006	0,722	0,650	0,000
ТУ 14-1-5541-2006	0,252	0,000	0,000
ТУ 14-1-5596-2010	0,278	0,350	0,000
ТУ 14-1-5526-2006	0,960	0,000	0,277
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,434	0,000	0,333
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,372	0,000	0,277
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,960	0,000	0,333
EN 10080:2005	0,000	0,000	1,000
ГОСТ 34028-2016	0,920	0,825	0,974

Наибольшие значения индексов получены для стандартов, регламентирующих все категории пластических свойств. Для свертывания индексов были рассчитаны коэффициенты весомости, представленные в табл. 3.26. Для определения коэффициентов весомости бы использована формула (2.13).

Таблица 3.26 – Значения коэффициентов весомости индексов пластичности проката арматурного

Показатель	Относительное удлинение после разрыва δ_5	Относительное равномерное удлинение после разрыва δ_p	Полное относительное удлинение при максимальной нагрузке δ_{max}
Значение коэффициента весомости	0,236	0,403	0,361

В табл. 3.27 представлены итоговые значения индекса пластичности проката арматурного. Данные значения были получены с использованием зависимости (2.3).

Таблица 3.27 – Расчётные значения индекса пластичности проката арматурного

Нормативный документ	Индекс
ГОСТ 6727-80	0,000
ГОСТ 5781-82	0,158
ГОСТ 10884-94	0,299
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,100
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,102
СТО АСЧМ 7-93	0,327
ТУ 14-170-217-94	0,159
ТУ 14-1-5254-2006	0,432
ТУ 14-1-5541-2006	0,059
ТУ 14-1-5596-2010	0,207
ТУ 14-1-5526-2006	0,327
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,223
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,188
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,347
EN 10080:2005	0,361
ГОСТ 34028-2016	0,901

Как видно из табл. 3.27, наибольшее значение индекса пластичности соответствует стандартам, регламентирующим все выбранные показатели для всех категорий пластичности, а именно ГОСТ 34028-2016 и СТО АСЧМ 7-93.

3.1.5 Расчёт индекса углеродного эквивалента проката арматурного

Данные о регламентации углеродного эквивалента проката арматурного в действующей нормативной и технической документации представлены в табл. 3.28. Сравнение стандартов произведено с учётом того, что для каждой рассматриваемой категории прочности проката арматурного регламентируется своё значение углеродного эквивалента.

Таблица 3.28 – Особенности регламентации углеродного эквивалента проката арматурного в действующей нормативной и технической документации

Нормативный документ	Углеродный эквивалент $S_{\text{ЭКВ}}$, %
ГОСТ 6727-80	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ГОСТ 5781-82	0,62 Не регламентируется Не регламентируется
ГОСТ 10884-94	Не регламентируется 0,40 0,44
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,52 0,52 0,52
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,52 0,52 0,52
СТО АСЧМ 7-93	0,50 0,52 0,67
ТУ 14-170-217-94	Не регламентируется Не регламентируется Не регламентируется
ТУ 14-1-5254-2006	0,52 0,52 0,52
ТУ 14-1-5541-2006	0,62 Не регламентируется Не регламентируется
ТУ 14-1-5596-2010	Не регламентируется Не регламентируется 0,60

Продолжение табл. 3.28

Нормативный документ	Углеродный эквивалент $C_{\text{ЭКВ}}$, %
ТУ 14-1-5526-2006	0,50
	0,52
	0,67
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,52
	0,52
	0,52
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,52
	0,52
	0,52
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,52
	0,52
	0,65
EN 10080:2005	0,52
	0,52
	0,52
ГОСТ 34028-2016	0,52
	0,52
	0,67

Как видно из табл. 3.28, некоторые стандарты, например, EN 10080:2005 или СТО АСЧМ 7-93, регламентируют значения углеродного эквивалента для каждой категории прочности. В свою очередь ГОСТ 6727-80 и ТУ 14-170-217-94 не регламентируют значение углеродного эквивалента ни для одной категории прочности.

Следующим этапом оценки было определение базовой модели на основании представленного сравнительного анализа. Значения для базовой модели выбраны соответствующими минимальным значениям углеродного эквивалента в рассматриваемых стандартах (табл. 3.29).

Таблица 3.29 – Значения углеродного эквивалента для базовой модели проката арматурного

	Углеродный эквивалент $C_{\text{ЭКВ}}$, %
Базовая модель	0,50
	0,52
	0,52

Значения данной базовой модели выбраны из минимальных требований анализируемых стандартов и не соответствуют требованиям какого-либо одного стандарта.

На следующем этапе по формуле (2.6) были определены значения показателей углеродного эквивалента в кодированном виде. Результаты расчёта представлены в табл. 3.30.

Таблица 3.30 – Кодированные значения углеродного эквивалента проката арматурного

Нормативный документ	Углеродный эквивалент $C_{\text{ЭКВ}}$, %
ГОСТ 6727-80	0,000
	0,000
	0,000
ГОСТ 5781-82	0,429
	0,000
	0,000
ГОСТ 10884-94	0,000
	0,429
	0,429
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,962
	1,000
	1,000
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,962
	1,000
	1,000
СТО АСЧМ 7-93	1,000
	1,000
	0,776
ТУ 14-170-217-94	0,000
	0,000
	0,000
ТУ 14-1-5254-2006	0,962
	1,000
	1,000
ТУ 14-1-5541-2006	0,807
	0,000
	0,000
ТУ 14-1-5596-2010	0,000
	0,000
	0,867

Продолжение табл. 3.30

Нормативный документ	Углеродный эквивалент $C_{\text{ЭКВ}}$, %
ТУ 14-1-5526-2006	1,000
	1,000
	0,776
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,962
	1,000
	1,000
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,962
	1,000
	1,000
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,962
	1,000
	0,800
EN 10080:2005	0,962
	1,000
	1,000
ГОСТ 34028-2016	0,962
	1,000
	0,776

В случае, если стандарт для какой-либо из категорий прочности не регламентирует значение углеродного эквивалента, то ему присваивалось значение 0.

Далее с использованием формулы (2.11) были определены коэффициенты весомости, представленные в табл. 3.31.

Таблица 3.31 – Значения коэффициентов весомости углеродного эквивалента проката арматурного

	Углеродный эквивалент $C_{\text{ЭКВ}}$, %
Значения коэффициентов весомости	0,315
	0,395
	0,290

В табл. 3.32 представлены итоговые значения индекса углеродного эквивалента проката арматурного. Данные значения были получены с использованием формулы (2.3).

Таблица 3.32 – Расчётные значения индекса углеродного эквивалента проката арматурного

Нормативный документ	Индекс
ГОСТ 6727-80	0,000
ГОСТ 5781-82	0,135
ГОСТ 10884-94	0,294
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,395
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,395
СТО АСЧМ 7-93	0,935
ТУ 14-170-217-94	0,000
ТУ 14-1-5254-2006	0,988
ТУ 14-1-5541-2006	0,254
ТУ 14-1-5596-2010	0,252
ТУ 14-1-5526-2006	0,935
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,988
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,988
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,930
EN 10080:2005	0,988
ГОСТ 34028-2016	0,923

Как видно из данных, представленных табл. 3.32, наибольшее значение индекса углеродного эквивалента соответствует стандартам, регламентирующим его для всех трёх категорий прочности. Небольшие отличия в значениях индексов данных стандартов объясняются тем, что углеродный эквивалент в них регламентируется различными численными значениями.

3.1.6 Расчёт итогового значения индекса уровня качества и прогрессивности проката арматурного

В табл. 3.33 обобщены значения индексов показателей качества и прогрессивности проката арматурного для рассматриваемых стандартов, результаты расчета которого показаны в пп. 3.1.1-3.1.5.

Таблица 3.33 – Расчётные значения индексов для отдельных показателей качества проката арматурного

Нормативный документ	Сортамент	Геометрические параметры профиля	Прочность	Пластичность	Углеродный эквивалент
ГОСТ 6727-80	0,414	0,000	0,255	0,000	0,000
ГОСТ 5781-82	0,926	0,412	0,370	0,158	0,135
ГОСТ 10884-94 (нормальная точность)	0,798	0,238	0,556	0,299	0,294
ГОСТ 10884-94 (повышенная точность)	0,798	0,363	0,556	0,299	0,294
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,714	0,799	0,448	0,100	0,395
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,798	0,762	0,460	0,102	0,395
СТО АСЧМ 7-93	0,798	0,536	0,905	0,327	0,935
ТУ 14-170-217-94	0,537	0,361	0,682	0,159	0,000
ТУ 14-1-5254-2006 (нормальная точность)	0,850	0,426	0,686	0,432	0,988
ТУ 14-1-5254-2006 (повышенная точность)	0,850	0,536	0,686	0,432	0,988
ТУ 14-1-5541-2006	0,798	0,398	0,175	0,059	0,254
ТУ 14-1-5596-2010	0,421	0,762	0,247	0,207	0,252
ТУ 14-1-5526-2006	0,457	0,465	0,905	0,327	0,935
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,798	0,299	0,353	0,223	0,988
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,699	0,272	0,350	0,188	0,988
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,839	0,338	0,930	0,347	0,930
EN 10080:2005	0,900	0,310	0,938	0,361	0,988
ГОСТ 34028-2016 (OM1, OB2, профили 3 и 4)	0,907	0,485	0,681	0,901	0,923
ГОСТ 34028-2016 (OM2, OB1 профили 1 и 2)	0,907	0,535	0,681	0,901	0,923

Данные, представленные в табл 3.33, получены с учётом того, что некоторые стандарты регламентируют разные показатели для нормального и повышенного уровня точности и для разных видов профиля.

Далее были рассчитаны коэффициенты весомости, приведённые в табл. 3.34. Для расчёта была использована формула (2.11).

Таблица 3.34 – Коэффициенты весомости индексов показателей качества проката арматурного

	Сортамент	Геометрические параметры профиля	Прочность	Пластичность	Углеродный эквивалент
Весомость	0,328	0,147	0,193	0,119	0,213

Итоговый результат определения индекса качества представлен в табл. 3.35. Данные значения были получены с использованием формулы (2.3).

Таблица 3.35 – Расчётные значения индекса качества и прогрессивности проката арматурного

Нормативный документ	Индекс
ГОСТ 6727-80	0,185
ГОСТ 5781-82	0,483
ГОСТ 10884-94 (нормальная точность)	0,502
ГОСТ 10884-94 (повышенная точность)	0,521
ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,534
ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,559
СТО АСЧМ 7-93	0,753
ТУ 14-170-217-94	0,380
ТУ 14-1-5254-2006 (нормальная точность)	0,736
ТУ 14-1-5254-2006 (повышенная точность)	0,752
ТУ 14-1-5541-2006	0,415
ТУ 14-1-5596-2010	0,376
ТУ 14-1-5526-2006	0,631
СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,610
СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,569
ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ)	0,744
EN 10080:2005	0,775
ГОСТ 34028-2016 (OM1, OB2, профили 3 и 4)	0,804
ГОСТ 34028-2016 (OM2, OB1 профили 1 и 2)	0,811

Как видно из данных табл. 3.35, наибольшие значения индексов уровня качества имеет прокат арматурный, произведенный в соответствии с требованиями ГОСТ 34028-2016 и EN 10080:2005.

3.2 Расчёт индекса уровня прогрессивности технологического процесса производства проката арматурного

Оценка уровня прогрессивности технологических процессов производства проката арматурного была проведена на основании анализа возможности обеспечения прочностных и пластических свойств способом ОМД, который является основой технологического процесса [176]. Одним из основных факторов, характеризующих процесс ОМД, является механическая схема деформации [42].

Обеспечение прочностных свойств проката арматурного рассматривали на основании анализа схемы главных деформаций метода ОМД и способа упрочнения, используемого при производстве. Обеспечение пластических свойств оценивали на основании схемы главных напряжений, неравномерности деформации и способа профилирования. Сравнение представлено в табл. 3.36.

Таблица 3.36 – Виды схем деформации способов ОМД, используемых в процессах производства проката арматурного

Технология	Схема главных деформаций	Схема главных напряжений
Горячая прокатка	Схема истечения металла	Всестороннее сжатие
Холодная прокатка	Схема истечения металла	Всестороннее сжатие
Растяжение	Схема истечения металла	Однородное линейное напряжённое состояние во всем объёме
Волочение в роликовой волоке	Схема истечения металла	Растягивающее напряжение в продольном направлении и сжимающие в радиальном и окружном
Волочение в монолитной волоке	Схема истечения металла	Растягивающее напряжение в продольном направлении и сжимающие в радиальном и окружном

Для всех рассматриваемых способов ОМД характерна одинаковая схема главных деформаций, поэтому при определении индекса прогрессивности технологического процесса для данного показателя при оценке были

присвоены равные значения. Наименее благоприятной схемой главных напряжений обладает способ растяжения. Для волочения характерна более благоприятная схема напряжений за счёт сжимающих напряжений в радиальном и окружном направлениях. Наиболее благоприятной схемой главных напряжений обладает прокатка.

На основании проведенного анализа были определены значения для оценки показателей, характеризующих схему деформации для рассматриваемых способов ОМД, используемых в технологических процессах производства проката арматурного (табл. 3.37).

Таблица 3.37 – Значения показателей в кодированном виде, характеризующие схему деформации в технологических процессах производства проката арматурного

Технология	Схема главных деформаций	Схема главных напряжений
Горячая прокатка	1,000	1,000
Холодная прокатка	1,000	1,000
Растяжение	1,000	0,333
Волочение в роликовой волоке	1,000	0,667
Волочение в монолитной волоке	1,000	0,667

Для схемы главных напряжений всем рассматриваемым способам были присвоены равные значения. В случае, если в оценку будут добавлены способы ОМД с другими схемами главных деформаций, значения индексов данного показателя будут изменены.

В табл. 3.38 представлено сравнение рассматриваемых технологий в зависимости от используемого способа упрочнения и способа профилирования.

Таблица 3.38 – Сравнение технологических процессов производства проката арматурного по способу упрочнения и профилирования

Технология	Способ упрочнения	Способ профилирования
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля (монокристаллическая волока)	Холодная пластическая деформация со степенью более 20%	Холодное профилирование
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля. (роликоточная волока)	Холодная пластическая деформация со степенью более 20%	Холодное профилирование
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля (холодная прокатка)	Холодная пластическая деформация со степенью более 20%	Холодное профилирование
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	Термомеханическое упрочнение	Горячее профилирование
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	Холодная пластическая деформация со степенью менее 5%	Горячее профилирование
Горячая прокатка легированной стали	Легирование	Горячее профилирование
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	Термомеханическое упрочнение	Холодное профилирование
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	Микролегирование и термомеханическое упрочнение	Горячее профилирование

При назначении индексов, характеризующих способ упрочнения и способ профилирования, были учтены следующие факторы. Наибольшее значение индекса 1,00 при оценке было присвоено способу упрочнения холодной пластической деформации с малой степенью деформации, поскольку данный способ позволяет получить требуемые прочностные свойства при сохранении большого запаса пластичности за счёт высокой равномерности деформации, а также является самым дешевым из всех рассматриваемых способов. Способу упрочнения с использованием контролируемого охлаждения в потоке прокатного стана проката из микролегированной стали присвоено значение 0,75, поскольку данный способ, несмотря на то, что позволяет сохранить

высокий запас пластичности, является более дорогим за счёт использования заготовки из микролегированной стали. Способу, основанному на использовании для упрочнения легированной стали, например, 25Г2С или 35ГС, было присвоено значение индекса 0,5, поскольку данный способ упрочнения также является дорогим за счёт использования легированных марок стали. Наименьшие значения индекса 0,25 были присвоены способам, основанным на холодной пластической деформации с высокой степенью деформации (данный способ приводит к значительному снижению пластичности проката арматурного) и термоупрочнению в потоке прокатного стана (данный способ приводит к формированию неблагоприятного напряженно-деформированного состояния).

Нанесение периодического профиля при горячей прокатке является предпочтительным по всем физико-механическим параметрам и экономическим затратам, поскольку данный способ обеспечивает формирование полностью равновесной микроструктуры металла при высоких параметрах сцепления проката арматурного с бетоном. В случае профилирования в холодном состоянии деформировать круглый гладкий подкат в периодический профиль только для упрочнения (как это получается при производстве холоднодеформированного проката), как технически, так и экономически нецелесообразно [5]. Также при профилировании металла в холодном состоянии неизбежно возникают концентраторы напряжений, что приводит к падению пластичности. Эти факторы явились основными для назначения соответствующих индексов. В табл. 3.39 приведены значения индексов, характеризующих способы упрочнения и способы профилирования проката арматурного.

Таблица 3.39 – Индексы, характеризующие способ упрочнения и способ профилирования проката арматурного

Технология	Способ упрочнения	Способ профилирования
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (монолитная волока)	0,25	0,25
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации. (роликовая волока)	0,25	0,25
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	0,25	0,25
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	0,25	1,00
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	1,00	1,00
Горячая прокатка легированной стали	0,50	1,00
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	0,25	0,25
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	0,75	1,00

Другим параметром, определяющим прогрессивность технологического процесса, является неравномерность деформации. На неравномерность деформации при волочении влияют четыре основных показателя: степень деформации, угол волоки, скорость деформации и коэффициент трения. Наиболее неравномерной деформация будет при волочении в монолитной волоке. Это связано в первую очередь с высоким коэффициентом трения и низкими обжатиями по сравнению с другими рассматриваемыми методами, что приводит к непроникновению деформации по сечению обрабатываемой заготовки. Использование роликовой волоки снижает трение по сравнению с волочением в монолитной волоке. Снижение трения позволяет увеличить большие обжатия, что в совокупности приводит к повышению равномерности

деформации по сечению. Поскольку при прокатке отсутствует тянущее усилие, то это позволяет обеспечить большую степень деформации по сравнению с волочением в роликовой волоке и, в свою очередь, приводит к уменьшению неравномерности деформации. Наибольшей равномерностью деформации из рассматриваемых методов обладает способ упрочнения в холодном состоянии с малой степенью деформации («Stretching»), поскольку в данном случае деформация происходит не в локализованном очаге, а в большом объёме металла. Также растягивающие напряжения, возникающие при обработки данным способом, существенно меньше, чем при волочении в монолитной или роликовой волоках. Знакопеременная деформация при данном способе позволяет существенно повысить равномерность деформации. Также высокой степенью равномерности обладает горячая прокатка. Наличие в технологии термоупрочнения снижает равномерность деформации, поскольку на поверхности проката арматурного формируется твердый слой, сердцевина остаётся более мягкой и вязкой.

Результаты оценки неравномерности деформации для рассматриваемых способов ОМД представлены в табл. 3.40.

Таблица 3.40 – Индексы неравномерности деформации для анализируемых способов ОМД

Технология	Индекс неравномерность деформации
Горячая прокатка	1,00
Горячая прокатка с термоупрочнением	0,80
Холодная прокатка	0,60
Растяжение (способом «Stretching»)	1,00
Волочение в роликовой волоке	0,40
Волочение в монолитной волоке	0,20

В табл. 3.41 приведены сводные данные о значениях индексов, присвоенных показателям, обеспечивающих необходимый уровень прочностных и пластических свойств проката арматурного при различных способах производства.

Таблица 3.41 – Значения индексов, характеризующих возможность обеспечения прочностных и пластических свойств проката арматурного произведенного по различным технологическим процессам

Технология производства проката арматурного	Обеспечение прочностных свойств		Обеспечение пластических свойств		
	Схема главных деформаций	Способ упрочнения	Схема главных напряжений	Неравномерность деформации	Способ профилирования
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (монолитная волока)	1,00	0,25	0,67	0,20	0,25
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации. (роликовая волока)	1,00	0,25	0,67	0,40	0,25
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	1,00	0,25	0,67	0,60	0,25
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	1,00	0,25	1,00	0,80	1,00
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00
Горячая прокатка легированной стали	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	1,00	0,25	1,00	0,80	0,25
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	1,00	0,75	1,00	0,80	1,00

Для полученных значений по формулам (2.11) и (2.13) были рассчитаны коэффициенты весомости, представленные в табл. 3.42.

Таблица 3.42 – Коэффициенты весомости для показателей обеспечения прочностных и пластических свойств проката арматурного

	Обеспечение прочностных свойств		Обеспечение пластических свойств		
	Схема главных деформаций	Способ упрочнения	Схема главных напряжений	Неравномерность деформации	Способ профилирования
Значение коэффициента весомости	0,000	1,000	0,235	0,340	0,425

Коэффициент весомости для схемы главных деформаций равен 0, поскольку значения индексов для каждой рассматриваемой технологии равны между собой.

В табл. 3.43 представлены значения индексов, характеризующих возможность обеспечения прочностных и пластических свойств проката арматурного, рассчитанные по формуле (2.7).

Таблица 3.43 – Значения индексов, характеризующих возможность обеспечения прочностных и пластических свойств проката арматурного при различных технологических процессах его производства

Технология производства проката арматурного	Обеспечение прочностных свойств	Обеспечение пластических свойств
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (монолитная волока)	0,250	0,332
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации. (роликовая волока)	0,250	0,400
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	0,250	0,468

Продолжение табл. 3.43

Технология производства проката арматурного	Обеспечение прочностных свойств	Обеспечение пластических свойств
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	0,250	0,932
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	1,000	0,842
Горячая прокатка легированной стали	0,500	1,000
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	0,250	0,613
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	0,750	0,932

Для полученных индексов были рассчитаны коэффициенты весомости, представленные в табл. 3.44. Расчёт был произведён по формуле (2.11).

Таблица 3.44 – Коэффициенты весомости для индексов, характеризующих возможность обеспечения прочностных и пластических свойств проката арматурного

	Обеспечение прочностных свойств	Обеспечение пластических свойств
Значение коэффициента весомости	0,355	0,645

В табл. 3.45 представлены значения индексов уровня прогрессивности каждого технологического процесса производства проката арматурного, рассчитанные по формуле (2.7).

Таблица 3.45 – Индексы уровня прогрессивности технологических процессов производства проката арматурного

Технология	Индекс
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (монолитная волока)	0,303
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации. (роликовая волока)	0,347
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	0,390
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	0,690
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	0,898

Технология	Индекс
Горячая прокатка легированной стали	0,822
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	0,484
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	0,867

Из полученных данных видно, что наиболее прогрессивными технологическими процессами являются технологии, основанные на упрочнении проката в холодном состоянии с малой степенью деформации и контролируемом охлаждении, а также отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали. Это означает, что прокат арматурный, произведенный по данным технологическим процессам, будет обладать наилучшими конкурентными преимуществами по сравнению с его аналогами, полученными по другим анализируемым технологиям.

3.3 Расчёт индекса затрат на изготовление проката арматурного

В данном диссертационном исследовании оценку уровня затрат для каждого технологического процесса производства проката арматурного проводили по следующим показателям:

- количество операций пластической деформации;
- удельная работа деформации;
- наличие/отсутствие термической обработки;
- сложность инструмента;
- сложность оборудования;
- марка стали заготовки.

Выбор данных показателей обусловлен тем, что показатели затрат в денежном эквиваленте не всегда доступны на стадии проектирования, а выбранные показатели проще оценить на предпроектной стадии.

При производстве проката арматурного используются заготовки из различных марок стали. В действующей нормативной и технической

документации используются следующие марки стали: сталь 3, 25Г2С, 35ГС, 18Г2С, а также для обеспечения необходимого уровня свойств используется микролегирование. Поскольку легирование удорожает сталь, то для оценки затрат была составлена шкала, представленная в табл. 3.46.

Таблица 3.46 – Шкала для оценки заготовки, используемой в технологическом процессе производства проката арматурного

Материал заготовки	Значение
Легированная сталь (25Г2С, 35ГС)	0,25
Легированная сталь (18Г2С)	0,50
Низкоуглеродистая сталь с микролегированием	0,75
Низкоуглеродистая сталь	1,00

В табл. 3.47 приведены характеристики технологического процесса производства проката арматурного, влияющих на уровень затрат на его производство.

Таблица 3.47 – Факторы, влияющие на уровень затрат в процессах производства проката арматурного

Технология производства проката арматурного	Наличие термической обработки	Количество операций холодной пластической деформации
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (монолитная волока)	Нет	10
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации. (роликовая волока)	Нет	6
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	Нет	5
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	Есть	0
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	Нет	4
Горячая прокатка легированной стали	Нет	0

Продолжение табл. 3.47

Технология производства проката арматурного	Наличие термической обработки	Количество операций холодной пластической деформации
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	Есть	4
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	Есть	0

Поскольку наличие операции термообработки в технологическом процессе связано с увеличением затрат, то в рамках данного исследования таким технологическим процессам был присвоен индекс 0. При отсутствии термической обработки технологическому процессу присваивался индекс 1. Значение индекса, характеризующего количество операций холодной пластической деформации, определялось с использованием формулы (2.5).

При оценке определена удельная работа деформации отдельно для горячей пластической деформации и холодной пластической деформации. В табл. 3.48 представлены расчёты удельной работы деформации для анализируемых технологических процессов производства проката арматурного.

Таблица 3.48 – Удельная работа деформации в рассматриваемых технологических процессах производства проката арматурного

Технология производства проката арматурного	Удельная работа горячей деформации, Дж/мм ³	Удельная работа холодной деформации, Дж/мм ³
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (монолитная волока)	792,60	663,07
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации. (роликовая волока)	792,60	662,68
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	792,60	659,90
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	995,82	–

Продолжение табл. 3.48

Технология производства проката арматурного	Удельная работа горячей деформации, Дж/мм ³	Удельная работа холодной деформации, Дж/мм ³
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	1029,01	18,23
Горячая прокатка легированной стали	1062,21	–
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	995,82	–
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	995,82	–

Определение значений удельной работы деформации в кодированном виде были определены по формуле (2.5).

Кодирование показателей «сложность инструмента» и «сложность оборудования» производилось с учётом следующих факторов. При горячей прокатке для всех рассматриваемых технологий оборудование и инструмент будут одинаковыми. При холодной пластической деформации наиболее простым инструментом является монолитная волока [33]. Ролики, используемые в способе «Stretching» для растяжения, можно считать более сложным инструментом по сравнению с монолитной волокой. Наиболее конструкционно сложным инструментом является и роликовая волока. Способ «Stretching» реализуется на более простом оборудовании. Если сравнивать оборудование, необходимое для реализации процесса волочения и холодной прокатки, то более простым будет являться стан холодной прокатки за счёт меньшей кратности волочения. Также следует учитывать, что каждая рассматриваемая технология использует стан горячей прокатки. Поэтому наивысшее значение показателей «сложность инструмента» и «сложность оборудования» присваивалось тем технологиям, которые реализуются без оборудования для упрочнения проката арматурного в холодном состоянии.

Значения показателей затрат на производство проката арматурного в кодированном виде представлены в табл. 3.49.

Таблица 3.49 – Значения показателей затрат на производство в кодированном виде

Технология	Марка стали заготовки	Количество операций пластической деформации	Работа деформации (горячая ОМД)	Работа деформации (холодная ОМД)	Наличие термической обработки	Сложность инструмента	Сложность оборудования
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с высокой степенью деформации (монокристаллическая волока)	1,000	0,360	1,000	0,025	1,000	0,875	0,625
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с высокой степенью деформации. (поликристаллическая волока)	1,000	0,600	1,000	0,025	1,000	0,625	0,625
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	1,000	0,720	1,000	0,025	1,000	0,625	0,750
Термоупрочнение в потоке прокатного стана	1,000	1,000	0,796	1,000	0,000	1,000	1,000
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	1,000	0,900	0,770	0,900	1,000	0,750	0,875
Горячая прокатка легированной стали	0,250	1,000	0,746	1,000	0,000	1,000	1,000
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	1,000	0,900	0,796	1,000	0,000	1,000	1,000
Термоупрочнение в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	0,750	1,000	0,796	1,000	0,000	1,000	1,000

Для полученных значений по формуле (2.11) были рассчитаны коэффициенты весомости, представленные в табл. 3.50.

Таблица 3.50 – Коэффициенты весомости показателей затрат на производство проката арматурного

Показатель затрат на производство	Значение коэффициента весомости
Марка стали заготовки	0,133
Количество холодной операций пластической деформации	0,203
Работа деформации (горячая ОМД)	0,185
Работа деформации (холодная ОМД)	0,067
Наличие/отсутствие термической обработки	0,051
Сложность инструмента	0,180
Сложность оборудования	0,180

В табл. 3.51 представлены итоговые значения индекса затрат на производство проката арматурного. Данные значения были получены с использованием формулы (2.9)

Таблица 3.51 – Рассчитанные значения индекса затрат на производство проката арматурного

Технология	Индекс
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (монолитная волока)	0,759
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации. (роликовая волока)	0,746
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации (холодная прокатка)	0,785
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана	0,911
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	0,870
Горячая прокатка легированной стали	0,750
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	0,898
Контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали	0,861

Как видно из представленных в табл. 3.51 данных, наибольшие значения индекса затрат на производство имеет технология, основанная на упрочении контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана. Это означает производство по данной технологии в промышленных условиях

приведёт к удешевлению проката арматурного. Поэтому данную технологию целесообразно применять, если к свойствам проката арматурного предъявляются повышенные требования.

3.4 Расчёт индекса эффективности технологических процессов производства проката арматурного

При определении итогового значения индексов эффективности анализируемых технологических процессов по формуле (2.13) были рассчитаны значения коэффициентов весомости, представленные в табл. 3.52.

Таблица 3.52 – Коэффициенты весомости индексов уровня качества проката арматурного, прогрессивности технологического процесса и затрат на производство

	Индекс уровня качества проката арматурного	Индекс уровня прогрессивности технологического процесса	Индекс уровня затрат на производство
Значение коэффициента весомости	0,383	0,449	0,168

В табл. 3.53 представлены итоговые значения индекса эффективности технологических процессов производства проката арматурного в соответствии с нормируемыми показателями в действующих нормативных документах. Расчет был проведён по формуле (2.1)

Таблица 3.53 – Индексы эффективности технологических процессов производства проката арматурного

Технология	Нормативный документ	Индексы
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля (монолитная волока)	ГОСТ 6727-80	0,334
	ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,468
	СТО АСЧМ 7-93	0,552
	ТУ 14-170-217-94	0,409
	СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,482

Технология	Нормативный документ	Индексы
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля (роликовая волока)	ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,486
	СТО АСЧМ 7-93	0,569
	ТУ 14-170-217-94	0,427
	СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,499
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля (холодная прокатка)	ГОСТ Р 52544-2006 (B500)	0,512
	СТО АСЧМ 7-93	0,596
	ТУ 14-170-217-94	0,453
	СТБ 1704-2006 (профили 2 и 3)	0,525
Горячая прокатка легированной стали	ГОСТ 5781-82	0,680
	ТУ 14-1-5541-2006	0,654
Профилирование термомеханически упрочнённой катанки	ГОСТ 10884-94 (нормальная точность)	0,561
	ГОСТ 10884-94 (повышенная точность)	0,568
	ГОСТ Р 52544-2006 (A500)	0,582
	СТО АСЧМ 7-93	0,657
	ТУ 14-1-5254-2006 (нормальная точность)	0,650
	ТУ 14-1-5254-2006 (повышенная точность)	0,656
	ТУ 14-1-5596-2010	0,512
	СТБ 1704-2006 (профили 1 и 4)	0,602
Горячая прокаткам легированной стали с контролируемым охлаждением	ДТСУ 3760-2006	0,748
	ТУ 14-1-5526-2006	0,704
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации (способ «Stretching»)	EN 10080:2005	0,846
	ГОСТ 34028-2016 (OM1, OB2, профили 3 и 4)	0,857
	ГОСТ 34028-2016 (OM2, OB1 профили 1 и 2)	0,860
Горячая прокаткам легированной стали с контролируемым охлаждением	EN 10080:2005	0,831
	ГОСТ 34028-2016 (OM1, OB2, профили 3 и 4)	0,842
	ГОСТ 34028-2016 (OM2, OB1 профили 1 и 2)	0,845

Как видно из табл. 3.53, наибольший индекс имеет процесс холодной обработки горячекатаного проката периодического профиля в потоке производства со степенью деформации менее 5% (т.е. способ «Stretching»). Этим способом обеспечивается производство проката в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 34028-2016 и евронорм EN 10080:2005. Это свидетельствует о том, что данный технологический

процесс позволяет производить прокат арматурный с наилучшим комплексом свойств при минимальном уровне затрат на производство.

Следует отметить, что представленная модель оценки эффективности технологических процессов производства проката арматурного не является статичной, т.е. может изменить своё состояние при изменении набора параметров или вариантов технологических процессов, входящих в оценку. Например, при включении в оценку технологий, основанных на методах интенсивной пластической деформации.

3.5 Выводы

1. Проведен расчет индекса уровня качества проката арматурного на основе анализа значений свойств, регламентируемых в действующих нормативных и технических документах. Для сравнения были приняты сортамент проката арматурного, геометрические параметры профиля, характеристики прочности и пластичности, а также углеродный эквивалент. Для кодирования соответствующих показателей были составлены базовые модели, включающие наибольшие/наименьшие значения (или их размах) нормируемых свойств проката арматурного в анализируемой нормативной и технической документации. В результате расчетов получены следующие данные: наибольшие значения индексов уровня качества имеет прокат арматурный, произведенный в соответствии с требованиями ГОСТ 34028-2016 и EN 10080:2005, поскольку в данных стандартах регламентируется широкий диапазон диаметров проката арматурного, различный формат его поставки, вид профиля, обеспечивающий лучшее сцепление с бетоном; данные стандарты регулируют соответствующие значения для различных классов прочности и категорий пластичности, а также значения углеродного эквивалента. Прокат арматурный, произведенный в соответствии с требованиями данных стандартов, будет обладать наилучшим качеством по

сравнению с его аналогами, произведенными по другим нормативным или техническим документам.

2. На основе анализа показателей прогрессивности технологического процесса и в результате расчетов установлено, что наиболее прогрессивными технологическими процессами производства проката арматурного являются следующие процессы: упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации; контролируемое охлаждение и отпуск в потоке прокатного стана заготовки из микролегированной стали. Эти процессы имеют наибольшие расчетные значения индекса прогрессивности, поскольку обеспечивают высокие прочностные свойства проката арматурного при сохранении высокой пластичности.

3. Анализ индекса затрат на производство с использованием для расчета значений выбранных соответствующих показателей показал, что технология, основанная на упрочении проката при контролируемом охлаждении с последующим отпуском в потоке прокатного стана является наименее затратной, поскольку она исключает упрочнение проката арматурного в холодном состоянии.

4. Сравнительный анализ расчетных значений индексов эффективности технологических процессов производства проката арматурного показал, что технологические процессы с использованием упрочнения в холодном состоянии с нанесением периодического профиля в монолитной или роликовой волоках либо холодной прокаткой являются менее эффективными по сравнению с такими процессами как упрочнение в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации или горячая прокатка легированной стали с контролируемым охлаждением. При этом наибольший индекс эффективности имеет процесс холодной обработки горячекатаного проката периодического профиля в потоке производства с малой степенью деформации (способ «Stretching»). В результате расчетов установлено, что этим способом обеспечивается производство проката арматурного в соответствии с

требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 34028-2016 и евронорм EN 10080:2005, т.е. данный технологический процесс позволяет производить прокат арматурный с наилучшим комплексом эксплуатационных свойств при минимальном уровне затрат на производство.

ГЛАВА 4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА АРМАТУРНОГО

4.1 Сравнительный анализ технологических процессов производства проката арматурного по результатам статистического анализа уровня качества

На следующем этапе исследования была проведена оценка адекватности полученной модели оценки эффективности технологических процессов производства проката арматурного. Для анализа корректности разработанной методики были использованы результаты испытаний проката арматурного, произведённого по различным технологическим процессам: выбраны прокат арматурный классов А400С и А500С (термомеханически упрочненный в потоке прокатного стана), произведённый по СТО АСЧМ 7-93, прокат арматурный класса В500С (упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации), произведённый по ГОСТ Р 52544-2006 и прокат арматурный, произведённый по ГОСТ 34028-2016 (упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации, т.е. менее 5%, горячекатаного проката с готовым периодическим профилем) Согласно проведённым расчётам (см. п.3.5) данные технологические процессы имеют разные значения индекса эффективности, используются разные методы упрочнения, в первую очередь определяемые используемым способом ОМД, обеспечивают различные свойства проката арматурного. Необходимо проверить на сколько анализируемые технологические процессы позволяют производить прокат арматурный, конкурентоспособный на рынке металлопродукции. Иными словами, какой технологический процесс обеспечивает лучшее соответствие готовой продукции требованиям стандартов, какой процесс способен стабильно обеспечивать качество продукции в течение длительного времени.

Также необходимо отметить, что на сегодняшний день в стандартах на прокат арматурный вводятся показатели для статистической оценки свойств готовой продукции, поскольку эффективность применения проката арматурного зависит от гарантированного уровня его потребительских свойств [25, 177]. Для показателей предела текучести, временного сопротивления разрыву, отношения временного сопротивления разрыву к пределу текучести и относительного равномерного удлинения после разрыва (для данных показателей в стандартах установлены требования по нижней границе требований) должно удовлетворяться следующее требование

$$\bar{x} - ts \geq C_{\min}, \quad (4.1)$$

где \bar{x} – среднее значение;

s – стандартное отклонение выборки;

t – коэффициент Стьюдента, заданный с требуемой вероятностью;

C_{\min} – определенная характеристическая величина.

В качестве величины C_{\min} должны быть выбраны соответствующие требования стандартов на прокат арматурный [178]. Данное требование должно выполняться для свойств с нормируемой нижней границей требований. Аналогичные требования должны выполняться и для свойств, имеющих ограничение по наибольшему допустимому значению, а также для ограниченных как минимальным, так и максимальным значением [179].

$$\bar{x} + ts \leq C_{\max}, \quad (4.2)$$

$$\bar{x} + ts \leq C_v \leq \bar{x} - ts. \quad (4.3)$$

где C_{\max} и C_v – определенные характеристические величины

4.1.1 Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного класса В500С, произведённого способом упрочнения холодной пластической деформацией с высокой степенью деформации

В ходе выполнения данного исследования проведена оценка уровня качества и стабильности свойств проката арматурного класса В500 с использованием методов математической статистики, а также интегрированная оценка уровня качества данного вида металлопродукции по сравнению с мировыми аналогами по имеющимся в литературе данным.

Статистическая оценка выполнена для проката арматурного из стали марки Ст3 с номинальными диаметрами 6, 8, 10 и 12 мм. Результаты испытаний проката арматурного в условиях действующего производства были сопоставлены и статистически оценены для условного предела текучести, временного сопротивления разрыву, отношение временного сопротивления разрыву и предела текучести и равномерного удлинения. Анализ был проведён для выборки в 928 образцов, полученных за период 2013 года. В качестве величины C_v выбраны соответствующие номинальные значения для проката арматурного класса В500С по ГОСТ Р 52544-2006 (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Требования к прокату арматурному класса В500С по ГОСТ Р 52544-2006

Показатель	Значение
Номинальная масса 1 м длины проката, кг	0,222 ($\pm 4,5\%$) (для 6 мм) 0,395 ($\pm 4,5\%$) (для 8 мм) 0,616 ($\pm 4,5\%$) (для 10 мм) 0,888 ($\pm 4,5\%$) (для 12 мм)
Относительная площадь смятия поперечных рёбер профиля f_R , не менее	0,039 (для 6 мм) 0,045 (для 8 мм) 0,052 (для 10 мм) 0,056 (для 12 мм)
Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ² , не менее	500
Временное сопротивление разрыву σ_b , Н/мм ² , не менее	550
Относительное равномерное удлинение δ_r , %, не менее	2

Результаты статистической обработки производственных данных об уровне свойств проката арматурного за 2013 год представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты статистической обработки массива данных по испытаниям проката арматурного класса В500С

Показатель качества	Количество значений	<u>min-max</u> среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Доверительный интервал 95%	Асимметрия	Экссесс
Диаметр 6 мм							
Диаметр, мм	196	<u>5,87-6,12</u> 6,01	0,069	1,15%	5,87-6,15	-0,191	-1,011
Масса 1 м длины проката, кг	196	<u>0,212-0,231</u> 0,222	0,005	2,31%	0,212-0,232	-0,152	-0,992
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	195	<u>500-680</u> 576,92	35,966	6,22%	506,43	0,242	-0,194
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	194	<u>550-720</u> 621,70	34,599	5,55%	553,89	0,458	-0,206
Относительное равномерное удлинение δ_p , %	195	<u>2,0-3,5</u> 2,50	0,278	11,09%	1,96	0,912	0,829
Относительная площадь смятия поперечных ребер профиля f_R	196	<u>0,054-0,079</u> 0,068	0,006	8,81%	0,056	-0,549	-0,936
Диаметр 8 мм							
Диаметр, мм	434	<u>7,82-8,18</u> 8,04	0,074	0,92%	7,89-8,19	-0,453	-0,050
Масса 1 м длины проката, кг	434	<u>0,377-0,412</u> 0,398	0,007	1,84%	0,384-0,412	-0,349	-0,200
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	434	<u>500-700</u> 565,07	33,881	5,99%	498,66	1,173	2,326
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	434	<u>550-745</u> 606,01	34,470	5,68%	538,45	1,302	2,633
Относительное равномерное удлинение δ_p , %	434	<u>2,0-3,8</u> 2,52	0,306	12,16%	1,92	1,030	1,546
Относительная площадь смятия поперечных ребер профиля f_R	434	<u>0,052-0,081</u> 0,064	0,005	7,87%	0,054	0,250	0,143

Продолжение табл. 4.2

Показатель качества	Количество значений	<u>min-max</u> среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Доверительный интервал 95%	Асимметрия	Эксцесс
Диаметр 10 мм							
Диаметр, мм	205	<u>9,81-10,22</u> 10,10	0,091	0,90%	9,92-10,28	-0,990	0,299
Масса 1 м длины проката, кг	204	<u>0,593-0,643</u> 0,628	0,011	1,79%	0,606-0,650	-0,984	0,297
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	205	<u>510-670</u> 594,93	31,849	5,34%	532,51	-0,194	-0,437
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	205	<u>550-710</u> 639,27	32,708	5,10%	575,16	-0,232	-0,374
Относительное равномерное удлинение δ_r , %	205	<u>2,0-3,8</u> 2,52	0,272	10,76%	1,99	1,554	3,658
Относительная площадь смятия поперечных ребер профиля f_R	205	<u>0,052-0,080</u> 0,057	0,005	8,14%	0,048	2,390	7,550
Диаметр 12 мм							
Диаметр, мм	94	<u>11,73-12,09</u> 11,90	0,109	0,91%	11,69-12,11	0,195	-1,321
Масса 1 м длины проката, кг	94	<u>0,848-0,900</u> 0,873	0,0159	1,81%	0,842-0,904	0,203	-1,328
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	94	<u>500-650</u> 544,79	35,431	6,47%	475,35	0,973	0,417
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	94	<u>550-690</u> 598,72	37,710	6,26%	524,81	0,624	-0,583
Относительное равномерное удлинение δ_r , %	94	<u>2,1-3,7</u> 2,62	0,283	10,75%	2,07	0,996	1,805
Относительная площадь смятия поперечных ребер профиля f_R	94	<u>0,056-0,064</u> 0,060	0,002	4,09%	0,055	0,365	-1,075

Гистограммы распределения частот представлены в Приложении 1 соответственно для проката арматурного класса В500С диаметрами 6, 8, 10 и 12 мм.

Статистическая оценка качества проката арматурного проводилась на соответствие требованиям ГОСТ Р 52544-2006 с использованием средней статистической величины, как меры наиболее ожидаемого значения и доверительного интервала, как более простой возможности оценки вероятного рассеивания случайной величины от ожидаемого среднего с вычислением стандартного отклонения. Только этими параметрами на основе выборочных значений могут определяться сегодня границы, в области которых можно прогнозировать значения для всей генеральной выборки, т.е. в условиях массового производства. Так как такие прогнозы довольно предположительны, то для оценки точности вычисления даже средней величины они должны основываться на определенных известных физических предпосылках. В большинстве случаев используется закон нормального распределения случайной величины.

При проведении исследования были важны, прежде всего, не просто констатация результатов, а анализ и прогноз возможных причин такого несоответствия свойств требованиям стандарта, если оно присутствует. Также важно было получить гистограммы частотных распределений и оценку вероятного расположения доверительного интервала конкретных выборочных значений параметров, рассчитанных для уровня надежности 95 % по рассматриваемому сортаменту проката арматурного класса В500С в границах требований ГОСТ Р 52544-2006 (см. Приложение 1). Такие границы на гистограммах выделены вертикальными сплошными линиями.

Как видно из полученных данных, практически для всех типоразмеров и для многих оцениваемых параметров эксплуатационных свойств характер распределения частот не соответствует теоретически построенным кривым нормального распределения.

Анализ гистограмм и данных, приведённых в табл. 4.2, указывает на высокую асимметричность частотных распределений и неудовлетворительные значения эксцесса (более 0,5).

Более того, нарушение соотношений между средней, медианой и модой имеет в основном характер положительной асимметрии ($A_s > 0$). При достаточно широкой шкале (от слабой до крайней асимметрии) такая тенденция, например, для прочностных и пластических свойств проката арматурного (см. Приложение 1 и табл. 4.2 столбец 7) показывает на практически полное отсутствие запаса (люфта), который может обеспечивать надежность по нижним браковочным (левым на графиках) границам этих параметров. Это является негативным моментом для обеспечения надежности указанных выше важных параметров, определяющих эффективность работы арматуры в бетоне на растяжение, а также высокий риск выхода параметров, регламентируемых в ГОСТ Р 52544-2006, за нормы, что также подтверждается результатами статистического анализа (см. табл. 4.2 столбец 6).

Широкий размах показателя эксцесса, как и асимметрии (см. табл. 4.2 столбцы 7 и 8) исключает какую-либо системность, и тем более затрудняет прогноз для поиска закономерности, что также подтверждает высокую неоднородность полученных результатов испытаний проката арматурного. Причину высокой вариабельности нужно искать в производстве и, прежде всего, в технологии.

В соответствии с данными табл. 4.2 (столбец 3) по минимальным показателям (а тем более по средним значениям, как меры ожидаемых значений) прокат арматурный практически соответствует требованиям ГОСТ Р 52544 – 2006. Это может означать, что режимы деформирования катанки на стадии получения конечного периодического профиля на фоне исследуемых результатов для конкретного предприятия могут быть удовлетворительны для решения сегодняшних производственных задач.

Жесткие, но прогрессивные нормы оценки надежности можно обеспечить только в том случае, когда отсутствует по крайней мере положительная асимметричность распределения в крайних формах, т.е. должен быть обеспечен определенный запас надежности, а расчетная средняя величина была по моде более отдалена от нижней браковочной границы. Тогда, при расчете доверительных интервалов для конкретного уровня надежности при удовлетворительном по величине стандартном отклонении нижние границы доверительного интервала могут быть подвинуты в большую сторону. Большой надежностью при прочих равных условиях будет обладать готовый холоднодеформированный прокат, уровень стандартного отклонения которого ниже, т.е. выше однородность свойств.

В табл. 4.3 представлены результаты обработки свойств проката арматурного Grade B500 категории «А» по требованиям национального стандарта BS 4449:2005. Данные представлены Британской национальной сертификационной компанией UK Certification Authority for Reinforcing Steels («UK CARES») за период испытаний с марта 2005 по сентябрь 2006 гг.. Данный арматурный прокат был произведён упрочнением в холодном состоянии гладкого проката со степенью деформации более 20%.

Таблица 4.3 – Результаты статистической обработки массива данных по испытаниям проката арматурного Grade B500 категории «А» европейских производителей

Нормативные характеристики	Grade B500A		
	Статистические характеристики		
	<u>min-max</u> среднее	Стандартное отклонение	Доверительный интервал 95%
Предел текучести Re, МПа	<u>492,0-638,0</u> 570,0	28,97	522,22
Временное сопротивление Rm, МПа	<u>553,0-673,0</u> 611,98	23,94	572,52
Полное относительное удлинение при max напряжении Agt, %	<u>2,4-12,8</u> 5,42	1,51	2,92

Нормативные характеристики	Grade B500A		
	Статистические характеристики		
	<u>min-max</u> среднее	Стандартное отклонение	Доверительный интервал 95%
Относительное удлинение на базе $S_d A_5$, %	<u>12,5-25,8</u> 17,07	2,0	13,78
Показатель R_m/Re	<u>1,02-1,19</u> 1,07	0,03	1,03
Объём выборки, N	410		

В табл. 4.4 приведен аналогичный расчет интегральных показателей для холоднодеформированного проката класса B500C по ГОСТ Р 52544 – 2006. На рис. 4.1 представлены гистограммы частотных распределений для всего массива данных проката класса B500C по ГОСТ Р 52544 – 2006.

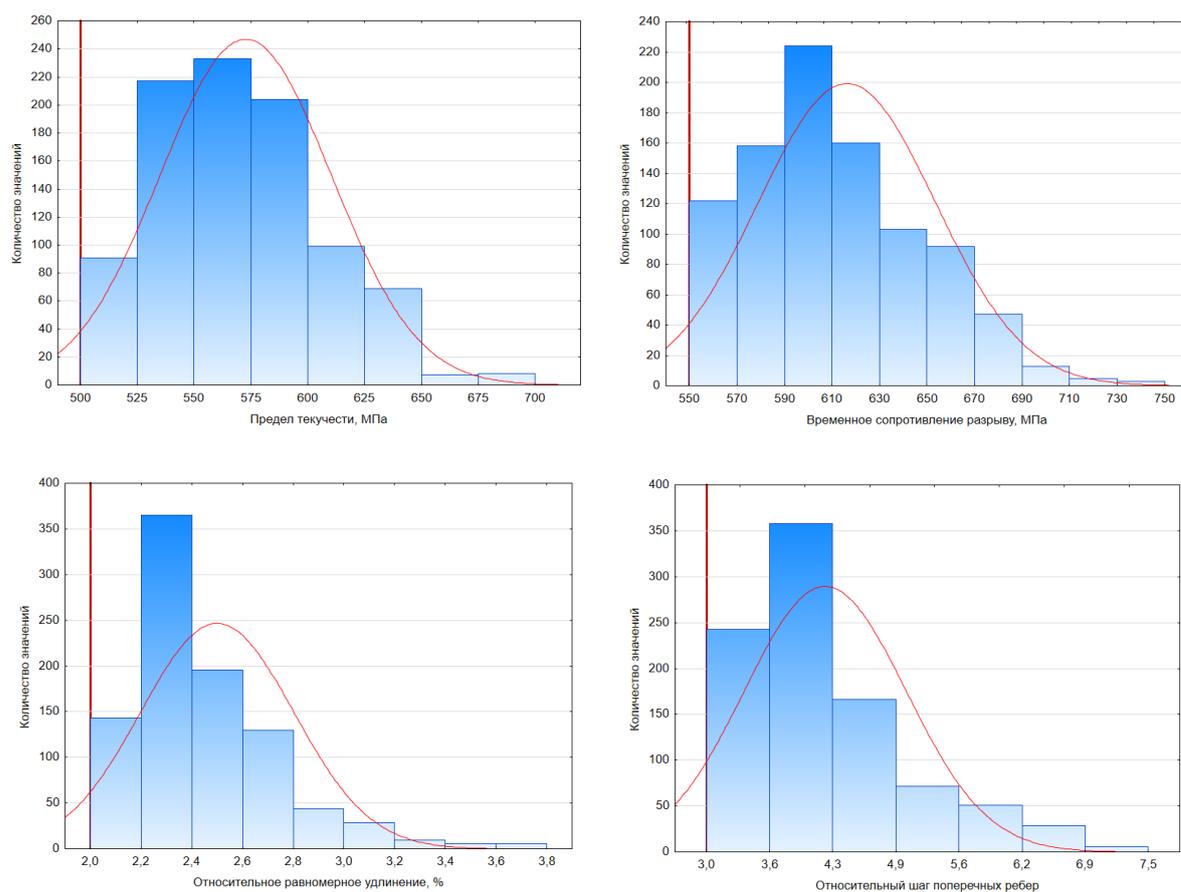


Рисунок 4.1 – Частотные распределения показателей качества проката арматурного класса B500C

Таблица 4.4 – Результаты статистической обработки массива данных по испытаниям проката арматурного класса В500С по ГОСТ Р 52544-2006

Показатель качества	Количество значений	min-max среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Доверительный интервал 95%
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	928	<u>500-700</u> 572,10	37,08	6,48%	499,42
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	927	<u>550-745</u> 615,91	37,25	6,04%	542,91
Относительное равномерное удлинение δ_p , %	928	<u>2,0-3,8</u> 2,52	0,29	11,57%	1,95

Сравнение результатов, приведенных в табл. 4.3 и 4.4, подтверждает высказанные предположения. Действительно, при примерно одинаковых (по интегральной оценке) расчетных значениях прочностных свойств за счет более низких значений стандартного отклонения значения границ доверительного интервала с достоверностью 95% проката Grade В500А соответствует BS 4449:2005 и значительно выше аналогичных значений для отечественного проката класса В500С, которые в основном не соответствует ГОСТ Р 52544-2006. Более сильным аргументом в пользу высказанных предположений является сравнение результатов показателей полного равномерного удлинения.

При повышенном почти в 2 раза ожидаемом среднем значении и размахе абсолютных значений (для Grade В500А 192 % от среднего, для класса В500С 7% от среднего) и даже при большем значении стандартного отклонения значения полного равномерного удлинения для проката Grade В500А соответствуют требованиям стандарта BS 4449:2005 (при условии 95% обеспечения уровня свойств) и почти в 1,5 раза выше значения аналогичного параметра проката класса В500С, которое при этом не соответствует ГОСТ Р52544-2006.

При одинаковых или даже более низких степенях деформации в режимах холодного упрочнения такая разница в конечных свойствах проката Grade В500А и класса В500С возможна при обеспечении более высоких абсолютных значений исследуемых показателей проката, что при

прочих равных условиях может быть достижимо при более высоких технологических свойствах и деформируемости катанки [178].

4.1.2 Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного классов А400С и А500С, произведенного способом термоупрочнения в потоке прокатного стана

Аналогичная статистическая обработка была проведена и для проката арматурного классов А400С и А500С, произведенного способом термоупрочнения в потоке прокатного стана.

Для анализа были отобраны две партии проката арматурного классов А400С изготовленный из стали марок СтЗсп(пс) и СтЗГпс(сп) и А500С, изготовленный из стали марки 18Г2С. Суммарный объем выборки составил 106 значений.

В табл. 4.5 представлены требования по показателям качества проката арматурного А500С и А400С в соответствии с требованиями СТО АСЧМ 7-93

Таблица 4.5 – Нормируемые показатели качества проката арматурного классов А500С и А400С по СТО АСЧМ 7–93

Показатель качества	А400С	А500С
Предел текучести σ_T , Н/мм ² , не менее	400	500
Временное сопротивление разрыву σ_B , Н/мм ² , не менее	500	600
Относительное удлинение δ_5 , %, не менее	16	14
Полное относительное удлинение перед разрывом δ_p при максимальном усилии P_{max} , %, не менее	2,5	
Относительная площадь смятия поперечных ребер f_R , не менее	от 6 до 8 включ. – 0,045	
	от 10 до 40 включ. – 0,056	

Результаты статистической обработки представлены в табл. 4.6 и 4.7. В приложении 2 представлены гистограммы частотных распределений.

Таблица 4.6 – Результаты статистической обработки массива данных по испытаниям проката арматурного класса А400С

Показатель качества	Количество значений	<u>min-max</u> среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Доверительный интервал 95%	Асимметрия	Эксцесс
Временное сопротивление	52	<u>485-550</u> 501,73	15,40	3,07	471,55-531,91	1,58	2,26
Предел текучести	52	<u>410-445</u> 423,17	10,20	2,41	403,19-443,16	0,88	-0,31
Относительное удлинение	53	<u>15,50-37,00</u> 24,83	4,37	17,59	16,27-33,39	0,72	0,84
Углеродный эквивалент	18	<u>0,24-0,33</u> 0,28	0,025	9,12	0,23-0,33	-0,14	-0,26
Относительная площадь смятия поперечных рёбер (8 мм)	35	<u>0,051-0,054</u> 0,052	0,01	1,49	0,0503-0,0534	0,66	0,28
Относительная площадь смятия поперечных рёбер (10 мм)	18	<u>0,052-0,065</u> 0,062	0,03	4,67	0,0567-0,0682	-2,93	10,33

Таблица 4.7 – Результаты статистической обработки массива данных по испытаниям проката арматурного класса А500С

Показатель качества	Количество значений	<u>min-max</u> среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Доверительный интервал 95%	Асимметрия	Экссесс
Временное сопротивление	54	<u>600-680</u> 635,19	17,24	2,71	601,40-668,97	0,14	-0,32
Предел текучести	54	<u>500-590</u> 526,39	24,06	4,57	479,24-573,54	1,51	1,24
Относительное удлинение	54	<u>20,00-26,00</u> 23,15	2,04	8,82	19,15-27,15	-0,25	-1,42
Углеродный эквивалент	18	<u>0,43-0,52</u> 0,48	0,25	5,15	0,44-0,53	-1,47	3,25
Относительная площадь смятия поперечных рёбер (8 мм)	19	<u>0,048-0,052</u> 0,050	0,01	2,31	0,0481-0,0527	-0,08	-0,54
Относительная площадь смятия поперечных рёбер (10 мм)	35	<u>0,053-0,061</u> 0,059	0,02	2,67	0,0560-0,0622	-1,53	5,07

Как видно из полученных данных, для анализируемого проката арматурного классов А400С и А500С наблюдается выход показателей качества за границы требований СТО АСЧМ 7-93 или же они близки к ним (например, предел текучести и временное сопротивление разрыву проката арматурного класса А500С). Для некоторых показателей качества (например, относительной площади смятия поперечных ребер профиля) характер частотных распределений близок к нормальному, что говорит о стабильности технологического процесса и возможности стабильного обеспечения качества по указанным показателям качества. Нормальный характер распределения свойств по показателю относительной площади смятия поперечных ребер профиля связан с тем, что периодический профиль проката арматурного в данной технологической схеме формируется в процессе горячей прокатки. Такой способ профилирования позволяет получать эффективный профиль. Тем не менее, нормальный характер распределение наблюдается не для всех показателей качества. Это может быть вызвано либо сбоями в технологическом процессе, связанными, например, с операцией термоупрочнения, либо большим разбросом и неоднородностью химического состава стали.

Важным является тот факт, что статистические показатели для проката арматурного класса А500С лучше, чем для класса А400С. Это связано с тем, что сталь марки 18Г2С по сравнению со сталью Ст3 имеет более узкий диапазон разброса по содержанию химических элементов. Также для обоих классов проката арматурного по отдельным показателям качества, например, по пределу текучести для проката арматурного класса А500С и временного сопротивления разрыву для проката арматурного класса А400С, наблюдается выход нижних границ доверительного интервала за границы требований стандарта. Для ряда анализируемых показателей качества характерны неудовлетворительные для нормального распределения значения показателей асимметрии и эксцесса, что также говорит о нестабильности рассматриваемой технологии упрочнения проката арматурного. Высокие значения

коэффициентов вариации для показателей качества проката арматурного класса А400С свидетельствуют о высокой неоднородности и большом разбросе в выборках.

Для устранения указанных проблем необходимо использовать более стабильные технологии, в первую очередь по температурным режимам и режимам деформации, а также заготовки с более стабильным химическим составом [180].

4.1.3 Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного класса А500У, произведённого упрочнением в холодном состоянии горячекатаного проката с готовым периодическим профилем с малой степенью деформации

В рамках диссертационного исследования была проведена оценка результатов испытаний предела текучести, временного сопротивления, и значений диаметра проката арматурного, произведённой способом «Stretching» по ГОСТ 34028-2016. В работе [181] было показано, что данный способ позволяет получать прокат арматурный со свойствами, уровень которых регламентирован в межгосударственном стандарте ГОСТ 34028-2016 (табл. 4.8).

Таблица 4.8 – Требования к свойствам проката арматурного по ГОСТ 34028-2016

Показатель качества	Значение	
Предел текучести σ_T , Н/мм ² , не менее	500	
Временное сопротивление разрыву σ_B , Н/мм ² , не менее	600	
Диаметр, мм	8	+0,3 -0,5
	12	
	14	

В табл. 4.9 представлены результаты вычисления описательной статистики, в Приложении 3 представлены соответствующие гистограммы.

Таблица 4.9 – Результаты статистической обработки массива данных по испытаниям проката арматурного, произведенного способом «Stretching»

Показатель качества	Количество значений	<u>min-max</u> среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Доверительный интервал 95%	Асимметрия	Экссесс
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	109	<u>508,66-721,30</u> 591,96	46,76	7,90	500,3	0,38	-0,15
Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	131	<u>600,70-809,19</u> 669,40	39,96	5,97	591,09	1,19	2,25
Полное относительное равномерное удлинение δ_r , %	42	<u>3,4-7,0</u> 5,2	0,93	17,80	3,4	0,24	-0,22
Диаметр (8 мм)	47	<u>7,48-8,41</u> 8,000	0,205	2,57	(7,60; 8,40)	0,435	0,814
Диаметр (10 мм)	19	<u>9,41-10,02</u> 9,764	0,216	2,21	(9,34; 10,19)	-0,679	-1,161
Диаметр (12 мм)	50	<u>11,68-12,38</u> 11,845	0,161	1,36	(11,53; 12,16)	1,223	0,893
Диаметр (14 мм)	18	<u>13,52-13,92</u> 13,651	0,128	0,94	(13,40; 13,90)	1,482	0,969
Диаметр (16 мм)	3	<u>15,88-15,89</u> 15,886	0,007	0,04	(15,87; 15,90)	-1,732	0

Как видно из полученных результатов, распределение показателей предела текучести и временного сопротивления имеют нормальный характер. Также следует отметить, что по показателям предела текучести и временного сопротивления имеется запас надёжности относительно нижних границ требований стандарта, в отличие от проката арматурного класса В500С. Также для данных показателей на графиках отсутствует многовершинность. Тем не менее, для данных распределений характерна положительная асимметрия и значения эксцесса, отличающиеся от нормального. Коэффициенты вариации для рассматриваемых показателей находятся в пределах нормы, т.е. меньше 33%. Также необходимо отметить, что границы доверительных интервалов находятся внутри границ, регламентируемых стандартом.

Способ «Stretching» упрочнять прокат арматурный при сохранении высокого запаса пластичности. При этом, способ упрочнения, основанный на растяжении является относительно недорогим. Также следует отметить, что в данном технологическом процессе профилирование осуществляется в горячем состоянии, что позволяет обеспечить высокий параметр сцепления с бетоном.

4.1.4 Статистический анализ результатов промышленных испытаний проката арматурного класса А-III, произведённого горячей прокаткой легированной стали

Следует отметить, что технологии, имеющие низкое значение индекса эффективности, могут быть использованы для производства конкурентоспособного проката арматурного в случае их совершенствования, например, использования современного автоматизированного оборудования. Для подтверждения этого была проведена статистическая обработка массивов данных по результатам испытаний горячекатанного проката арматурного, произведённого в ООО «Тулачермет-Сталь» в соответствии с требованиями ГОСТ 5781-82. Суммарный объём выборки 54 значения. Результаты обработки представлены в табл. 4.10.

Таблица 4.10 – Результаты статистической обработки массива данных по испытаниям проката арматурного класса А-III по ГОСТ 5781-82

	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$	Временное сопротивление разрыву σ_b	Условный предел текучести $\sigma_{0,1}$
Количество значений	36	36	18
<u>min-max</u>	<u>405,88–437,14</u>	<u>648,00–674,03</u>	<u>405,22–423,46</u>
среднее	418,16	658,88	415,11
Размах	31,26	26,03	18,24
Стандартное отклонение	6,88	7,21	4,34
Коэффициент вариации	1,65%	1,09%	1,05%
Асимметрия	1,04	0,34	-0,23
Экцесс	1,12	-0,69	0,75
Доверительный интервал 95%	(404,66; 431,65)	(644,75; 673,02)	(406,60; 423,61)

Гистограммы распределения частот прочностных свойств представлены на рис. 4.2.

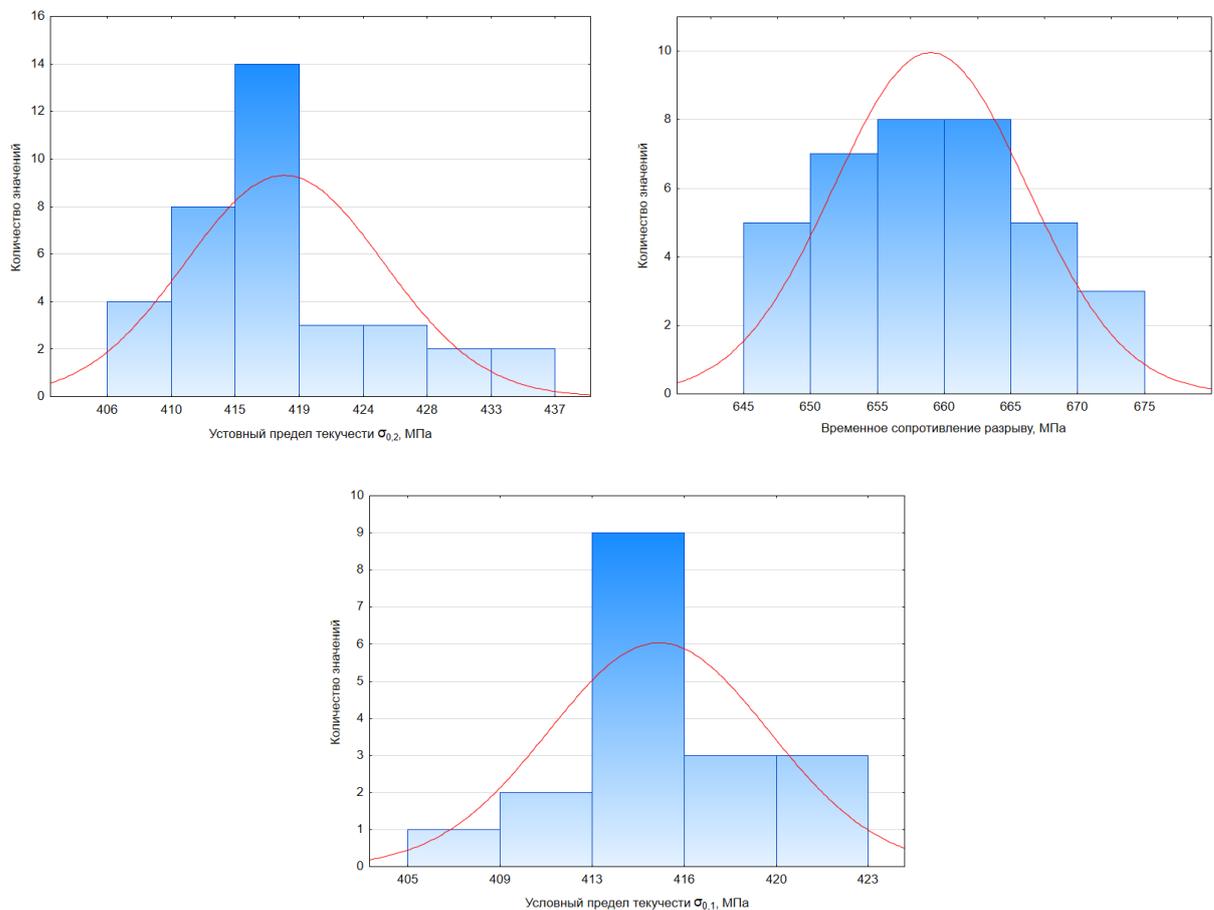


Рисунок 4.2 – Частотные распределения свойств горячекатаного проката арматурного по ГОСТ 5781-82

Как видно из табл. 4.10 и рис. 4.2, значения показателей прочностных показателей находятся в границах требований ГОСТ 5781-82. Значения коэффициента вариации не превышают 10%, что говорит об однородности выборок и характере распределения, близком к нормальному, близком к нормальному. Тем не менее частотные распределения характеризуются высокими значениями асимметрии и эксцесса (более 0,5). Низкое значение асимметрии характерно лишь для условного предела текучести (менее 0,25). В целом статистические показатели для данной партии проката арматурного лучше, чем для ранее анализируемых, поскольку современное оборудование и высокая степень автоматизации позволяют управлять технологическим процессом.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что полученные в главе 3 результаты не являются статичными, и технологии, имеющие низкий уровень индекса эффективности технологического процесса, могут быть использованы для производства конкурентоспособного проката арматурного в случае их совершенствования.

4.2 Сравнительный анализ эффективности технологических процессов производства проката арматурного. Проверка адекватности полученных результатов

Сравнение статистических показателей проката арматурного, произведённого по различным технологическим процессам, представлено в табл. 4.11-4.13.

Таблица 4.11 – Сравнение статистических показателей предела текучести проката арматурного

Показатель	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля	Горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана		Упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации, горячекатаного проката периодического профиля (метод «Stretching»)	Горячая прокатка легированной стали
		A500C	A400C		
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> 592	<u>405,88-437,14</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	2,326	1,24	-0,31	-0,15	1,12
Доверительный интервал 95%	498,66	479,24	403,19	500,3	404,66

Таблица 4.12 – Сравнение статистических показателей временного сопротивления разрыву проката арматурного

Показатель	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля	Горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана		Упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации, горячекатаного проката периодического профиля (метод «Stretching»)	Горячая прокатка легированной стали
		A500C	A400C		
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	<u>648,00-674,03</u> 658,88
Размах	195	80	65	208	26,03
Стандартное отклонение	34,469	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 4.13 – Сравнение статистических показателей по пластическим свойствам проката арматурного

Показатель	Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля	Горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана		Упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации, горячекатаного проката периодического профиля (метод «Stretching»)
		A500C	A400C	
	δ_p	δ_{max}	δ_{max}	δ_p
Количество значений	927	54	53	42
<u>min-max</u> среднее	<u>2,0-3,8</u> 2,5	<u>6,2-10,5</u> 9,3	<u>15,50-37,00</u> 24,83	<u>3,4-7,0</u> 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

Как видно из полученных данных, прокат арматурный, изготовленный упрочнением в холодном состоянии с малой степенью деформации, горячекатаного проката периодического профиля способом «Stretching» (значение индекса от 0,846 до 0,860), имеет лучшие конкурентоспособные преимущества по сравнению с прокатом арматурным классов А500, А400 (технология термомеханического упрочнения в потоке прокатного стана, значение индекса эффективности технологического процесса от 0,704 до 0,748), и прокатом арматурным класса В500 (упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля, значение индекса от 0,334 до 0,552). Например, прокат арматурный В500С имеет большую положительную асимметрию, чем прокат арматурный, произведённый способом «Stretching». Также прокат арматурный, произведённый способом «Stretching» имеет

большой запас надёжности по нижним границам требований стандартов по сравнению с прокатом арматурным классов В500С и А500С. Данный результат не противоречит ранее проведённой оценке эффективности технологических процессов производства проката арматурного, по результатам которого способ «Stretching» имеет наибольшее значение индекса эффективности технологического процесса (см. п.3.4, глава 3).

Также для проверки корректности результатов оценки была проведена проверка нормальности полученных ранее частотных распределений. Для проверки были рассчитаны значения отношений асимметрии и эксцесса к соответствующим значениям стандартного отклонения. Результаты представлены в табл. 4.14–4.18.

Таблица 4.14 – Отношение асимметрии к стандартному отклонению асимметрии свойств проката арматурного класса В500С

Показатель качества	Значение As/S_A для проката арматурного диаметром 6 мм	Значение As/S_A для проката арматурного диаметром 8 мм	Значение As/S_A для проката арматурного диаметром 10 мм	Значение As/S_A для проката арматурного диаметром 12 мм	Значение As/S_A для проката арматурного диаметром (все диаметры)
Диаметр, мм	1,08	3,87	5,83	0,78	–
Масса 1 м длины проката, кг	0,86	2,98	5,78	0,82	–
Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	1,37	10,01	1,14	3,91	5,98
Временное сопротивление, σ_b , Н/мм ²	2,33	11,12	1,37	2,51	7,04
Относительное равномерное удлинение, δ_r , %	5,17	8,79	9,15	4,00	13,96
Относительная площадь смятия поперечных ребер профиля, f_R	3,11	2,13	14,07	1,47	–

Таблица 4.15 – Отношение эксцесса к стандартному отклонению эксцесса показателей свойств арматурного класса В500С

Показатель качества	Значение E_x/S_E для проката арматурного диаметром 6 мм	Значение E_x/S_E для проката арматурного диаметром 8 мм	Значение E_x/S_E для проката арматурного диаметром 10 мм	Значение E_x/S_E для проката арматурного диаметром 12 мм	Значение E_x/S_E для проката арматурного диаметром (все диаметры)
Диаметр, мм	2,93	0,21	0,88	2,68	–
Масса 1 м длины проката, кг	2,87	0,86	0,88	2,70	–
Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	0,56	9,95	1,29	0,85	0,30
Временное сопротивление, σ_b , Н/мм ²	0,50	11,26	1,11	1,18	0,25
Относительное равномерное удлинение, δ_r , %	2,40	6,61	10,82	3,66	11,95
Относительная площадь смятия поперечных ребер профиля, f_R	2,71	0,61	22,33	2,18	–

Таблица 4.16 – Отношение асимметрии к стандартному отклонению асимметрии и эксцесса к стандартному отклонению эксцесса свойств проката арматурного классов А400С и А500С

Показатель качества	Отношение асимметрии к стандартному отклонению асимметрии		Отношение эксцесса к стандартному отклонению эксцесса	
	А400С	А500С	А400С	А500С
Временное сопротивление, Н/мм ²	15,06	0,42	1,97	0,77
Предел текучести, Н/мм ²	17,89	4,66	2,18	0,27
Относительное удлинение, %	2,21	0,77	0,38	1,84
Углеродный эквивалент, %	0,26	0,11	1,02	4,43
Относительная площадь смятия поперечных ребер (8 мм)	3,42	0,16	0,16	1,29
Относительная площадь смятия поперечных ребер (10 мм)	1,67	0,35	1,89	4,55

Таблица 4.17 – Отношение асимметрии к стандартному отклонению асимметрии и эксцесса к стандартному отклонению эксцесса показателей качества проката арматурного класса А500У

Показатель качества	Отношение асимметрии к стандартному отклонению асимметрии	Отношение эксцесса к стандартному отклонению эксцесса
Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	1,62	0,33
Временное сопротивление, σ_b , Н/мм ²	5,61	5,35
Диаметр (8 мм)	1,26	1,20

Показатель качества	Отношение асимметрии к стандартному отклонению асимметрии	Отношение эксцесса к стандартному отклонению эксцесса
Диаметр (10 мм)	1,30	1,14
Диаметр (12 мм)	3,63	1,35
Диаметр (14 мм)	2,76	0,93
Диаметр (16 мм)	1,41	–

Таблица 4.18 – Результаты проверки нормальности частотного распределения свойств проката арматурного класса А-III по ГОСТ 5781-82

	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$	Временное сопротивление разрыву σ_b	Условный предел текучести $\sigma_{0,1}$
As/S _A	2,65	0,87	0,43
Ex/S _E	1,46	0,89	0,72

Для того, чтобы принять гипотезу о нормальности распределения необходимо, чтобы значения As/S_A и Ex/S_E были меньше 3. Как видно из полученных результатов, для всех анализируемых технологических процессов для некоторых показателей наблюдаются отклонения от нормального распределения. Тем не менее, для показателей проката арматурного, произведенного способом «Stretching», максимальные значения As/S_A и Ex/S_E меньше, чем максимальные значения аналогичных отношений для проката арматурного, произведённого по другим анализируемым технологическим процессам. Данный результат также не противоречит ранее проведённой оценке эффективности технологических процессов производства проката арматурного по результатам которого способ «Stretching» имеет наибольшее значение индекса эффективности технологического процесса (см. п. 3.4, глава 3). Как видно из табл. 4.18, значения отношений асимметрии и эксцесса к соответствующим значениям стандартного отклонения меньше 3, что говорит о нормальном характере данных распределений для результатов промышленных испытаний проката арматурного, произведённого горячей прокаткой легированной стали.

Также для проверки адекватности полученных результатов оценки эффективности были рассчитаны индексы эффективности технологических

процессов производства проката арматурного. Статистические показатели, представленные в табл. 4.11–4.13, были использованы для расчёта индекса уровня качества продукции. Значения индексов затрат на производство и уровня прогрессивности технологического процесса соответствуют значениям, представленным в табл. 3.45 и 3.51, глава 3. Результаты итогового расчёта представлены в табл. 4.19.

Таблица 4.19 – Проверка адекватности результатов оценки

		Индекс качества	Индекс уровня технологии	Индекс затрат на производство	Индекс эффективности
Упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с высокой степенью деформации с нанесением периодического профиля		0,863	0,303	0,759	0,863
Горячая прокатка с контролируемым охлаждением и отпуском в потоке прокатного стана	A500	0,901	0,690	0,911	0,901
	A400	0,872	0,690	0,911	0,828
Упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации, горячекатаного проката периодического профиля (метод «Stretching»)		0,924	0,898	0,870	0,924
Горячая прокатка легированной стали		0,905	0,765	0,750	0,839

Соотношение между полученными индексами эффективности технологических процессов соответствует соотношению между индексами, рассчитанными ранее в третьей главе, также не противоречит ранее полученным результатам оценки и говорит об адекватности полученных результатов.

4.3 Выводы

1. Для проверки оценки эффективности технологических процессов производства проката арматурного проведена статистическая оценка результатов испытаний готовой продукции с использованием методов описательной статистики и определения доверительных интервалов. Для расчетов были использованы результаты испытаний проката арматурного,

произведённого по различным технологическим схемам: прокат арматурный классов А400С и А500С (термомеханически упрочненный в потоке прокатного стана), прокат арматурный класса В500С (упрочнение в холодном состоянии горячекатаного гладкого проката с нанесением периодического профиля с высокой степенью деформации) и прокат арматурный класса А500У (упрочнение в холодном состоянии с малой степенью деформации горячекатаного проката с готовым периодическим профилем).

2. Результаты оценки частотных распределений результатов испытаний и расчетные статистические показатели указывает на высокую вариабельность механических свойств отечественного проката арматурного класса В500С, концентрация рассеивания величин основных эксплуатационных характеристик вокруг их средних значений отличается от нормального распределения и смещена в сторону браковочных границ. Аналогичные результаты получены при статистическом анализе для проката арматурного классов А400С и А500С. Прокат арматурный класса А500У имеет лучшие статистические показатели по сравнению с прокатом арматурным классов А400С, А500С и В500С. Это связано с тем, что данный способ отличается высокой степенью стабильности и контролируемой технологией.

3. Показано, что для повышения значения индекса эффективности технологического процесса производства проката арматурного горячей прокаткой легированной стали следует использовать автоматизированное оборудование, обеспечивающее выпуск продукции с частотными распределениями свойств, близкими к нормальному. Это свидетельствует о возможности применения разработанной методики определения эффективности технологических процессов для разработки мероприятий по совершенствованию существующих промышленных технологий.

4. 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.

Список литературы

1. Управление качеством арматурной проволоки из низкоуглеродистых сталей в процессе ее изготовления / А.Д. Носов, А.А. Соколов, М.В. Зайцева // Метиз. – 2009. – № 9. – С. 26–28.
2. Мадатян, С. А. Арматура железобетонных конструкций / С.А. Мадатян. – М.: Воентехлит, 2000. – 256 с.
3. 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.
4. Алмазов, В. О. Проектирование железобетонных конструкций по ЕВРОНОРМАМ. Научное издание / В.О. Алмазов. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 216 с.
5. Дорохин, П. С. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен / П.С. Дорохин, В.А. Харитонов // Стройметалл. – 2012. – № 3. – С. 14–23.
6. Анিকেев, В. В. Арматура нуждается в унификации требований / В.В. Анিকেев, В.А. Харитонов // Металлоснабжение и сбыт. – 2010. – № 10. – С. 60–65.
7. 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.
8. Тихонов, И. Н. Арматурная сталь / И.Н. Тихонов // Метизы. – 2009. – № 1. – С. 6–9.
9. Взгляд в будущее / С.В. Снимщиков, В.А. Харитонов, И.Н. Суриков, В.В. Анিকেев // Стройметалл. – 2013. – № 5. – С. 7–13.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Сравнительный анализ современных требований к арматурному прокату для ненапряженного железобетона / С.В. Снимщиков, И.Н. Суриков, А.В. Харитонов, В.А. Харитонов // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2014. – № 2 (41). – С. 56–59.

14. Коршунов, Д. А. Аспекты надежности армирования / Д.А. Коршунов // Бетон и железобетон. – 2004. – № 1. – С. 27–31.

15. О прочностных возможностях арматурной стали / Д.М. Беленький, Н.Л. Вернези, Е.Е. Косенко // Бетон и железобетон. – 2004. – № 3. – С. 17–21.

16. Разработка технологии производства холоднодеформированной арматурной стали по стандарту ONORM B 4200 / С.Н. Колос, А.В. Зиновенко, В.И. Бондаренко // Метизы. – 2009. – № 1. – С. 44–45.

17. Мадатян, С. А. Холоднодеформированная арматура класса В500С. Проблемы и достижения производства / С.А. Мадатян // Метизы. – 2008. – № 2. – С. 20–25.

18. Экспериментальные исследования механических характеристик, выносливости и сцепления с бетоном стержневой арматуры класса А500С с различными типами периодического профиля / И.Н. Суриков, И.П. Саврасов, О.О. Цыба, А.Н. Бондаренко // Научные труды 2-ой Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону: сб. тр. НИИЖБ. – 2005. – С. 486–494.

19. Тихонов, И. Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. Пособие по проектированию / И.Н. Тихонов. – М.: НИИЖБ, 2007. – 170 с.

20. Хотько, А. А. Сцепление с бетоном и анкеровка ненапрягаемой арматуры с различными видами периодического профиля / А.А. Хотько. - Дисс. ... на соиск. уч. степени канд. техн. наук, спец. 05.23.01. - Новополоцк, 2006. - 155 с.

21. Bigaj, A. J. Bond behaviour of deformed bars in NSC and HSC: experimental study / A.J. Bigaj // Delft University of Technology, Dept, of Civil Engineering. – 1995. – P. 91–106.

22. Engström B. Ductility of tie connections in precast structures: PhD Thesis. Chalmers University of Technology. - Goteborg (Sweden). 1992. - 368 p. – . .

23. Характер сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей / А.С. Семченков, А.С. Залесов, В.З. Мешков, А.А. Квасников // Бетон и железобетон. – 2007. – № 5. – С. 2–7.

24. Новая холоднодеформированная стальная арматура. Свойства и изготовление / А.М. Должанский, Ю.Б. Сигалов, В.А. Критов // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – № 4. – С. 79–81.

25. Тихонов, И. Н. Требования к потребительским свойствам холоднодеформированной арматуры класса В500 / И.Н. Тихонов, В.С. Гуменюк // Метизы. – 2006. – № 2. – С. 40–46.

26. Ивченко, А. В. Анализ требований нормативной документации на холоднодеформированный арматурный прокат и обеспечение нормируемых механических свойств при его производстве / А.В. Ивченко // Метизы. – 2006. – № 1 (11). – С. 48–53.

27. Бакунова, О. А. Арматура класса 500С с новым профилем / О.А. Бакунова // Метизы. – 2006. – № 1 (11). – С. 45–47.

28. Харитонов, В. А. Производство волочением проволоки из низкоуглеродистых марок стали; проектирование, технология, оборудование:

учеб. пособие / В.А. Харитонов, М.В. Зайцева. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. – 167 с.

29. 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

30. Иванченко, А. В. Анализ требований нормативной документации на холоднодеформированный арматурный прокат и обеспечение нормируемых механических свойств при его производстве / А.В. Иванченко // Метизы. – 2006. – № 1. – С. 48–53.

31. Технология арматурных работ при изготовлении блоков обделки автодорожного тоннеля / А.В. Пахомов, В.И. Бондаренко, Е.А. Черныгов // Бетон и железобетон. – 2002. – № 4. – С. 12–16.

32. Арматурная проволока со свойствами арматурной стали класса А500С / В.И. Родин, В.А. Харитонов, А.А. Семёнов // Метизы. – 2004. – № 2. – С. 56–62.

33. Харитонов, В. А. Классификация способов ОМД по технологическим признакам при производстве проволоки / В.А. Харитонов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. – 2012. – С. 13–18.

34. Разработка и реализация конкурентоспособных технологий производства низкоуглеродистой арматурной проволоки в условиях ОАО «ММК – МЕТИЗ» / А.Д. Носов, Е.П. Носков, В.Е. Семёнов, Б.А. Коломиец, В.А. Харитонов, М.В. Зайцева. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2008. – 107 с.

35. Упрочнение в потоке станов низкоуглеродистых сталей / П.Д. Одесский, С.И. Тишаев, Н.Д. Бахтеева // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 9. – С. 36–38.

36. Одесский, П. Д. Фасонный прокат высокой прочности с конструктивной анизотропией / П.Д. Одесский, В.Т. Черненко // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1992. – № 8. – С. 13–18.

37. 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.

38. 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.

39. 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.

40. 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.

41. Мадатян, С. А. Нормативные и расчётные сопротивления арматуры / С.А. Мадатян // *Бетон и железобетон.* – 2005. – № 3. – С. 2–5.

42. Стальная проволока: монография / Х.Н. Белалов, А.А. Клековкин, Н.А. Клековкиев, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2011. – 689 с.

43. Есть ли перспектива развития производства холоднотянутой низкоуглеродистой проволоки класса Вр-1 // *Метизы.* – 2004. – № 2 (6). – С. 47–51.

44. Битков, В. В. Производство холоднокатаной проволоки для армирования железобетонных конструкций на высокоскоростных линиях

модульного типа / В.В. Битков // Заготовительные производства в машиностроении. – 2006. – № 8. – С. 35–43.

45. Харитонов, В. А. Формирование свойств углеродистой проволоки холодной деформацией: монография / В.А. Харитонов, Л.В. Радионова. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2001. – 127 с.

46. Обработка проволоки растяжением: монография / В.А. Харитонов, А.Б. Иванцов, Т.А. Лаптева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. Гос. техн. Ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 162 с.

47. ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации (ЕСТД). Термины и определения основных понятий»

48. ГОСТ 14.004-83 «Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий»

49. Аксёнов, П. В. Квалиметрические методы в задачах проектирования исследований и испытаний автомобилей / П.В. Аксёнов. – М.: ЦНИИТЭИавтопром, 1989. – 145 с.

50. Богатин, Ю. В. Управленческий учет: информационное обеспечение рациональных плановых решений фирмы / Ю.В. Богатин. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 513 с.

51. Гончарова, Н. П. Маркетинг инновационного процесса / Н.П. Гончарова, П.Г. Перерва. – Киев: Наукова думка, 1998. – 363 с.

52. Захарченко, В. И. Конкурентоспособность станкостроительной продукции / В.И. Захарченко // Маркетинг в России и за рубежом. – 1999. – № 5. – С. 26.

53. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки конкурентоспособности подвижной автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т., 2001. – 65 с.

54. Комплексная оценка экологически автотракторной техники на основе метода многокритериальной оптимизации подвижности / Е.Ю. Голышев, В.В.

Беляков, М.Е. Бушуева // Н. Новгород. – 2002. – 11 с. Рукопись представлена Нижегород. гос. техн. ун-том. Деп. В ВИНТИ 31 дек. 2002, №2312-B2002

55. Ермошенко, Н. Н. Основные тенденции предпринимательства в странах с развитой рыночной экономикой / Н.Н. Ермошенко, Э.И. Барсученко. – Киев: Укр ИНТЭИ, 1992. – 212 с.

56. Оценка инновационного потенциала в стратегии развития корпорации / Л.Н. Родионова, О.Г. Кантор, С.А. Карповская // Международная научно-практическая конференция «Экономическая безопасность: концепция, стандарты» Уфа, 19-21 мая 2016 г. – 2016. – С. 144–147.

57. Перерва, П. Г. Синергетический эффект бенчмаркинга конкурентных преимуществ / П.Г. Перерва, Н.П. Ткачова // Маркетинг и менеджмент инноваций. – 2011. – № 4-1. – С. 55–66.

58. Оценка конкурентоспособности продукции / А.Н. Родионов, О.Г. Кантор, Ю.Р. Хакимова // Маркетинг в России и за рубежом. – 2000. – № 1. – С. 17–27.

59. Уотерман, Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотерман. – М.: Мысль, 1989. – 320 с.

60. Светуньков, С. Г. Экономическая теория маркетинга / С.Г. Светуньков. – С.-Пб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2003. – 207 с.

61. Фатхутдинов, Р. А. Ориентация на конкурентоспособность / Р.А. Фатхутдинов // Стандарты и качество. – 2007. – № 12. – С. 79–83.

62. Оценка конкурентоспособности продукции / Л.Н. Родионова, О.Г. Кантор, Ю.Р. Хакимова. – М.: Компания КноРус, 2010. – 424 с.

63. Азоев, Г. Л. Анализ деятельности конкурентов / Г.Л. Азоев. – М.: ГАУ, 1995. – 190 с.

64. Кузнецов, Л. А. Современный подход к управлению металлургической технологией / Л.А. Кузнецов // Производство проката. – 1999. – № 9. – С. 27.

65. Кузнецов, Л. А. Управление качеством в сложных технологических системах / Л.А. Кузнецов // Проблемы управления. – 2007. – № 3. – С. 47–53.

66. Кузнецов, Л. А. Обобщённая мера оценки качества / Л.А. Кузнецов // Методы менеджмента качества. – 2007. – № 4. – С. 34.
67. Кузнецов, Л. А. Контроль и оценка многомерного качества / Л.А. Кузнецов // Методы менеджмента качества. – 2008. – № 10. – С. 40–45.
68. Организационный подход к управлению качеством продукции / М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов, С.А. Федосеев // Стандарты и качество. – 2012. – № 5. – С. 80–84.
69. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях : монография / С.А. Федосеев, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. – 229 с.
70. Модель календарного планирования производства с нечеткими целями и ограничениями / С.А. Федосеев, А.В. Вожаков, М.Б. Гитман // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3. – С. 21–24.
71. Разработка и внедрение системы менеджмента качества на основе международных стандартов ИСО 9000 / И.Г. Гун, Д.С. Осипов, Ю.В. Калмыков // Сб. науч. трудов 61-ой науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ за 2001-2002 гг. - Магнитогорск : МГТУ. – 2002. – С. 109–119.
72. Управление качеством в метизном производстве / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Г.Ш. Рубин // Metallургические процессы и оборудование. – 2013. – № 4. – С. 106–111.
73. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, И.Г. Гун, И.Ю. Мезин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2003. Т. 5. – № 67
74. Квалиметрическая оценка производства автомобильного крепежа : монография / Д.М. Закиров, Г.Ш. Рубин, И.Ю. Мезин. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 158 с.

75. Управление качеством при производстве шипов противоскольжения: монография / Д.М. Закиров, Г.Ш. Рубин, И.Ю. Мезин. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – 114 с.

76. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев : монография / И.Г. Гун, Г.Ш. Рубин, В.В. Сальников. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – 133 с.

77. Рубин, Г. Ш. Квалиметрия метизного производства: Монография / Г.Ш. Рубин. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012. – 167 с.

78. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества шаровых пальцев: монография / И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. – 147 с.

79. Квалиметрическая оценка результативности сквозных технологий производства шаровых пальцев для шарниров зарубежных автомобилей / И.А. Михайловский, Д.С. Осипов, А.С. Долженков // Материалы науч.-техн. конф. «Бояршиновские чтения» : Сб. докл. - Магнитогорск: МГТУ. – 2004. – С. 18–21.

80. Перспективное планирование качества продукции / Д.С. Осипов, И.А. Михайловский, В.И. Куцепендик // Материалы 63-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2003-2004 гг. – 2004. Т. 1. – С. 40–46.

81. Методика квалиметрической оценки и анализа производственных процессов / Д.С. Осипов, И.А. Михайловский, И.Г. Гун // Век качества. – 2011. – № 3. – С. 36–38.

82. Сальников, В. В. Развитие методики комплексной оценки результативности технологий производства металлопродукции / В.В. Сальников // Международная научно-практическая конференция «Металлургия России на рубеже XXI века» : Сб. науч. тр. - Новокузнецк. – 2005. – С. 285–291.

83. Сальников, В. В. Комплексная оценка эффективности технологических процессов на примере технологии производства шаровых пальцев / В.В. Сальников // Материалы 64 научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004-2005 г.г. : Сб. докл. - Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ». – 2006. – С. 85–89.

84. Аппарат математической логики для комплексной оценки эффективности технологических процессов / Д.М. Закиров, Г.Ш. Рубин, В.В. Сальников // Производство проката. – 2006. – № 12. – С. 35–38.

85. Сабадаш, А. В. Оценка и выбор технологии производства фланцевых болтов: монография / А.В. Сабадаш. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2005. – 110 с.

86. Сабадаш, А. В. Квалиметрическая оценка эффективности технологии производства болта «TORX» / А.В. Сабадаш // Материалы II Междунар. конф. «Механика пластического формоизменения. Технология и оборудование обработки металлов давлением». - Тула : ТГУ. – 2004. – С. 84–86.

87. Разработка метода оценки результативности производственного процесса изготовления крепежных изделий / Д.М. Закиров, С.С. Скворцова, И.Ю. Мезин // Известия вузов. Черная металлургия. – 2006. – № 10. – С. 57–60.

88. Управление качеством канатной катанки на стане 170 ОАО «ММК» с использованием множественного регрессионного анализа / Е.Н. Бородина, И.Г. Шубин, М.И. Румянцев // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов: материалы XXI Уральской школы металловедов-термистов. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова. – 2012. – С. 271–279.

89. Комплексный показатель качества для оценки сквозной технологии производства метизных изделий / Е.Н. Бородина, И.Г. Шубин, М.И. Румянцев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции под ред.

В.М. Колокольцева. - Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2013. Т. 1. – С. 329–335.

90. Управление качеством канатной проволоки и канатов на основе множественного регрессионного анализа / Е.Н. Бородина, И.Г. Шубин, М.И. Румянцев // Механика и актуальные проблемы металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр. под ред. Железкова О.С. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2014. – С. 136–145.

91. О подходе к оцениванию результативности и стабильности производства грузоподъемных и грузолюдских канатов / И.Г. Шубин, М.И. Румянцев, Е.Н. Степанова, Р.С. Воропаев, М.Ю. Юрченко // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции под ред. К.Н. Вдовина. – Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ». – 2010. Т. 1. – С. 40–42.

92. Оценка результативности и стабильности производства грузолюдских и грузоподъемных канатов / И.Г. Шубин, М.И. Румянцев, Е.Н. Степанова // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 6. – С. 46–48.

93. Методика оценки результативности системы менеджмента качества метизного производства / Е.Н. Степанова, И.Г. Шубин, М.И. Румянцев // Производство проката. – 2011. – № 5. – С. 29–31.

94. Совершенствование методики оценки результативности системы менеджмента качества метизного производства / Е.Н. Степанова, И.Г. Шубин, М.И. Румянцев // Управление большими системами: материалы VIII Всероссийской школы-семинара молодых ученых под ред. Д.А. Новикова. - Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. ун-та им. Г.И. Носова. – 2011. – С. 346–349.

95. К вопросу практического использования методики оценки результативности системы менеджмента качества метизного производства в

технологическом цикле изготовления стальных канатов / И.Г. Шубин, Е.Н. Степанова, М.И. Румянцев // Производство проката. – 2012. – № 3. – С. 21–24.

96. Методологический подход к управлению качеством метизной продукции, основанный на нечетких множествах / В.Н. Лебедев, Г.Ш. Рубин, Ф.Т. Вахитова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2009. – № 4. – С. 50–53.

97. Применение элементов нечёткой логики для управления показателями качества метизных изделий на операциях термической обработки / В.Н. Лебедев, А.Г. Корчунов, М.В. Чукин // Казахстанской Магнитке 50 лет: Труды III междунар. научн.-техн. конф. г. Темиртау : Изд-во РИК по учебной и методической литературе Республики Казахстан. – 2010. – С. 149–153.

98. Корчунов, А. Г. Методология управления показателями качества продукции в технологиях метизного производства на основе моделей с элементами нечеткой логики: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 2010. 37 с. / А.Г. Корчунов

99. Голубчик, Э. М. Развитие методологических основ адаптивного управления качеством металлопродукции в многовариантных технологических системах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 2014. 42 с. / Э.М. Голубчик

100. Моллер, А. Б. Методология управления качеством в сортопрокатной технологической системе на основе адаптивных моделей формирования потребительских свойств продукции: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23. Магнитогорск, 2011. 303 с.

101. Шемшурова, Н. Г. Совершенствование технологии производства гнутых профилей на основе комплексной оценки качества /Дисс. на соискание учен. степ. к.т.н. - Магнитогорск: МГМИ. - 1985. - С. 43. / Н.Г. Шемшурова

102. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство. – Н. Новгород: СМЦ «Приоритет», 2009. – 142 с.

103. Розенталь, Р. М. Методика FMEA – путь повышения качества продукции / Р.М. Розенталь // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2010. – № 7. – С. 90–95.

104. Развитие FMEA-анализа / А.А. Исаева, А.К. Астафьева, А.В. Бардина, Л.Ю. Петрова, Н.Е. Гребнева // Отраслевые аспекты технических наук. – 2012. – № 12(24). – С. 55–59.

105. Govers, C.P.M. QFD not just a tool but a way of quality management / C.P.M. Govers // International Journal of Production Economics. – 2001. – Vol. 69. – №2. – P. 151.

106. Овчинникова, К. Д. Применение метода QFD для решения проблем на российских предприятиях / К.Д. Овчинникова, Т.Ю. Шкарина // Научные исследования: от теории к практике. – 2014. – № 1(1). – С. 315–316.

107. A fuzzy-QFD approach to supplier selection / M. Bevilacqua, F.E. Ciarapica, G. Giacchetta // Journal of Purchasing and Supply Management. – 2006. – Vol. 12. – №1. – P. 14–27.

108. Kwong, C. K. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a FAHP with an extent analysis approach / C.K. Kwong // IE Transactions. – 2003. – №35(7). – P. 619–626.

109. Шпер, В. Л. Метод QFD / В.Л. Шпер // Методы менеджмента качества. – 2015. – № 4. – С. 52–53.

110. QFD: разработка продукции и технологических процессов на основе требований и ожиданий потребителей: методические указания / Ю.А. Вашуков, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, 2012. – 32 с.

111. Махалин, А. А. Проблемы применения процедуры ANPQP / А.А. Махалин // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 38. – С. 20–25.

112. Амирханян, А. С. Перспективное планирование качества продукции Advanced Product Quality Planning / А.С. Амирханян, А.Г. Бревнова //

Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2012. Т. 2. – № 8. – С. 88–89.

113. Особенности выполнения FMEA конструкции сборочных единиц автомобиля / Г.Л. Юнак, Г.В. Иванов, И.В. Лощина // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2005. – № 3. – С. 33–37.

114. Розенталь, Р. М. Методика FMEA - Путь повышения качества продукции / Р.М. Розенталь // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2010. – № 7. – С. 90–95.

115. Юнак, Г. Л. Особенности выполнения FMEA технологии на примере процессов сборки узлов автомобиля / Г.Л. Юнак // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2005. – № 4. – С. 87–92.

116. Развёртывание функции качества (QFD): методические указания / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина, Ю.А. Вашуков. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, 2009. – 54 с.

117. Всеобщее управление качеством : учебник для вузов / О. П. Глудкин, Н. М. Горбунов, А. И. Гуров, Ю. В. Зорин: под ред. О. П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 600 с.

118. Гун, И. Г. Разработка методики исследования качества металлопродукции с определением ключевой технологической операции на основе метода анализа иерархий. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23. Магнитогорск, 2016. 135 с.

119. Гун, И. Г. Разработка методики исследования качества металлопродукции с определением ключевой технологической операции на основе метода анализа иерархий. автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23. Магнитогорск, 2016. 18 с. / И.Г. Гун

120. Конкурентные позиции бизнеса: Монография / Э.М. Коротков, Ю.Т. Шестопал, В.Д. Дорофеев. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 261 с.

121. Осипов, Д. С. Обеспечение заданного уровня качества штампованных шаровых пальцев на основе повышения результативности

сквозной технологии и системы менеджмента качества : автореф. дис. ... канд. техн. Наук : 05.02.23 / Осипов Дмитрий Сергеевич. – Магнитогорск, 2004. – 20 с. / Д.С. Осипов

122. Сабадаш, А. В. Выбор эффективной схемы высадки фланцевых болтов на основе использования методов квалиметрии / А.В. Сабадаш // Новые материалы и технологии НТП-2004: Материалы Всеросс. научн.-техн. конф., Москва. – 2004. Т. 2. – № 4. – С. 58–60.

123. Комплексная оценка результативности сквозных технологий производства с использованием логики антонимов на примере шаровых пальцев / И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов, В.В. Сальников // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2005. Т. 1. – № 9(45). – С. 67–71.

124. Сальников, В. В. Разработка и выбор сквозной технологии производства шаровых пальцев на основе комплексной оценки эффективности процессов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.23 / Сальников Виталий Владимирович. - Магнитогорск, 2006. - 20 с. / В.В. Сальников

125. Михайловский, И. А. Методология обеспечения качества изделий на основе регламентации комплекса требований к процессам их производства / И.А. Михайловский // Век качества. – 2011. – № 3. – С. 49–51.

126. Михайловский, И. А. Повышение результативности производства шаровых шарниров на основе регламентации комплекса требований к качеству изделий и материалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Михайловский Игорь Александрович. – Магнитогорск, 2011. – 44 с. / И.А. Михайловский

127. Лебедев, В. Н. Повышение результативности технологии производства для обеспечения качества высокопрочной арматуры: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Лебедев Владимир Николаевич. – Магнитогорск, 2011. – 19 с. / В.Н. Лебедев

128. Бородина, Е. Н. Управление качеством стальных канатов с применением комплексного показателя действенности технологии волочения

и свивки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Бородина Екатерина Владимировна. – Магнитогорск, 2014. – 19 с. / Е.Н. Бородина

129. Производство продукции сортопрокатных станов с применением системы менеджмента качества / Н.А. Ручинская, А.С. Лимарев, С.А. Левандовский. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2012. – 192 с.

130. Динцис, Д. Ю. Методы принятия решений в условиях неполной определенности на базе теории нечетких множеств (логики антонимов) / Д.Ю. Динцис // Журнал депонированных рукописей. – 2001. – № 8. – С. 60–64.

131. Копанева, И. Н. Как измерить удовлетворенность потребителя / И.Н. Копанева // Методы менеджмента качества. – 2003. – № 6. – С. 21–26.

132. Копанева, И. Н. Мониторинг и управление качеством процесса производства с применением логики антонимов / Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: 05.02.23 (Санкт-Петербургский гос. техн. университет). – С.-Пб. – 2002. – 18с. / И.Н. Копанева

133. Копанева, И. Н. О количественной оценке систем общего управления качеством на предприятиях / И.Н. Копанева, В.Н. Тисенко // Вестник машиностроения. – 2001. – № 8. – С. 62–64.

134. Тисенко, В. Н. Нечеткие множества в задачах комплексных испытаний при реализации инновационных проектов / В.Н. Тисенко. – С.-Пб.: Политехника, 1998. – 104 с.

135. Колмогоров, А. Н. К логическим основам теории информации и теории вероятностей. Теория информации теория алгоритмов / А.Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

136. Рубин, Г. Ш. Логические законы оценки качества продукции / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун // Магнитогорск. – 1981. – 23с. Рукопись представлена МГМИ. Деп. В ВИНТИ 19 авг. 1981, №4105-81

137. ГОСТ 27.202-83 «Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции»

138. Версан, В. Г. Интеграция управления качеством продукции: новые возможности / В.Г. Версан. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 218 с.

139. Тавер, Е. И. Экспертный метод потребительской оценки качества продукции / Е.И. Тавер // Стандарты и качество. – 1998. – № 11. – С. 24–27.

140. Бар, Дж. Т. Инструменты качества. Часть IV. Диаграммы Парето / Д.Т. Бар // Методы менеджмента качества. – 2000. – № 7. – С. 27–30.

141. 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

142. Реутов, В. Е. Управление международной конкурентоспособностью предприятий / В.Е. Реутов, Н.З. Вельгош. – Симферополь: Феникс, 2008. – 194 с.

143. 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.

144. 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.

145. Федюкин, В. К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции / В.К. Федюкин. – М.: КНОРУС, 2015. – 326 с.

146. Энергосберегающие мероприятия при производстве арматурного проката на стане 320 Белорусского металлургического завода / В.Г. Раздобреев, П.В. Токмаков, В.А. Луценко, А.А. Сотников, П.А. Бобков, М.И. Титов // Черные металлы. – 2011. – № 6. – С. 19–24.

147. Фатхутдинов, Р. А. Стратегический маркетинг: Учебник. / Р.А. Фатхутдинов. – М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2000. – 640 с.

148. 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.

149. 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.

150. Эффективность взаимодействия технологических методов разной физической природы при направленном формировании качества деталей машин / А.И. Кондаков, А.С. Васильев, В.С. Цыганов // Известия вузов. Машиностроение. – 2002. – № 1. – С. 39–45.

151. 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.

152. 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.

153. 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.

154. 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.

155. 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.

156. Харитонов, В. А. Методика выбора конкурентоспособных производственных процессов / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Качество в обработке материалов. – 2016. – № 1. – С. 25–27.

157. 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.

158. Харитонов, В. А. Выбор эффективной технологии изготовления конкурентоспособной арматурной стали / В.А. Харитонов, И.М. Петров // Сталь. – 2015. – № 7. – С. 41–44.

159. 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.

160. Основы квалиметрии. Инструменты и системы управления качеством / В.Ф. Рашников, В.М. Салганик, Н.Г. Шемшурова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2012. – 344 с.

161. 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.

162. 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. – С. 334–335.

163. ГОСТ Р 52544-2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций»

164. ГОСТ 6727-80 «Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций»

165. ГОСТ 5781-82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций»

166. ГОСТ 10884-94 «Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций»

167. ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций»

168. ТУ 14-170-217-94 «Проволока холоднодеформированная с 4-х сторонним периодическим профилем для армирования железобетонных конструкций»

169. ТУ 14-1-5254-2006 «Прокат периодического профиля для армирования железобетонных конструкций»

170. ТУ 14-1-5541-2006 «Прокат арматурный горячекатаный класса А400 для железобетонных конструкций»

171. ТУ 14-1-5596-2010 «Прокат термомеханически упрочненных класса А600 для армирования железобетонных конструкций»

172. ТУ 14-1-5526-2006 «Прокат арматурный класса А500СП с эффективным периодическим профилем»

173. СТБ 1704-2006 «Арматура ненапрягаемая для железобетонных конструкций»

174. ДТСУ 3760-2006 (ISO 6935-2:1991, NEQ) «Прокат арматурный для железобетонных конструкций»

175. EN 10080:2005 «Сталь для армирования железобетонных конструкций»

176. 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.

177. 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.

178. 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.

179. 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.

180. 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.

181. Снимщиков С. В. Совершенствование нормативной базы на прокат арматурный с применением принципов комплексной и опережающей стандартизации. дис. ... канд техн. наук: 05.02.23. Магнитогорск, 2016. 118 с.

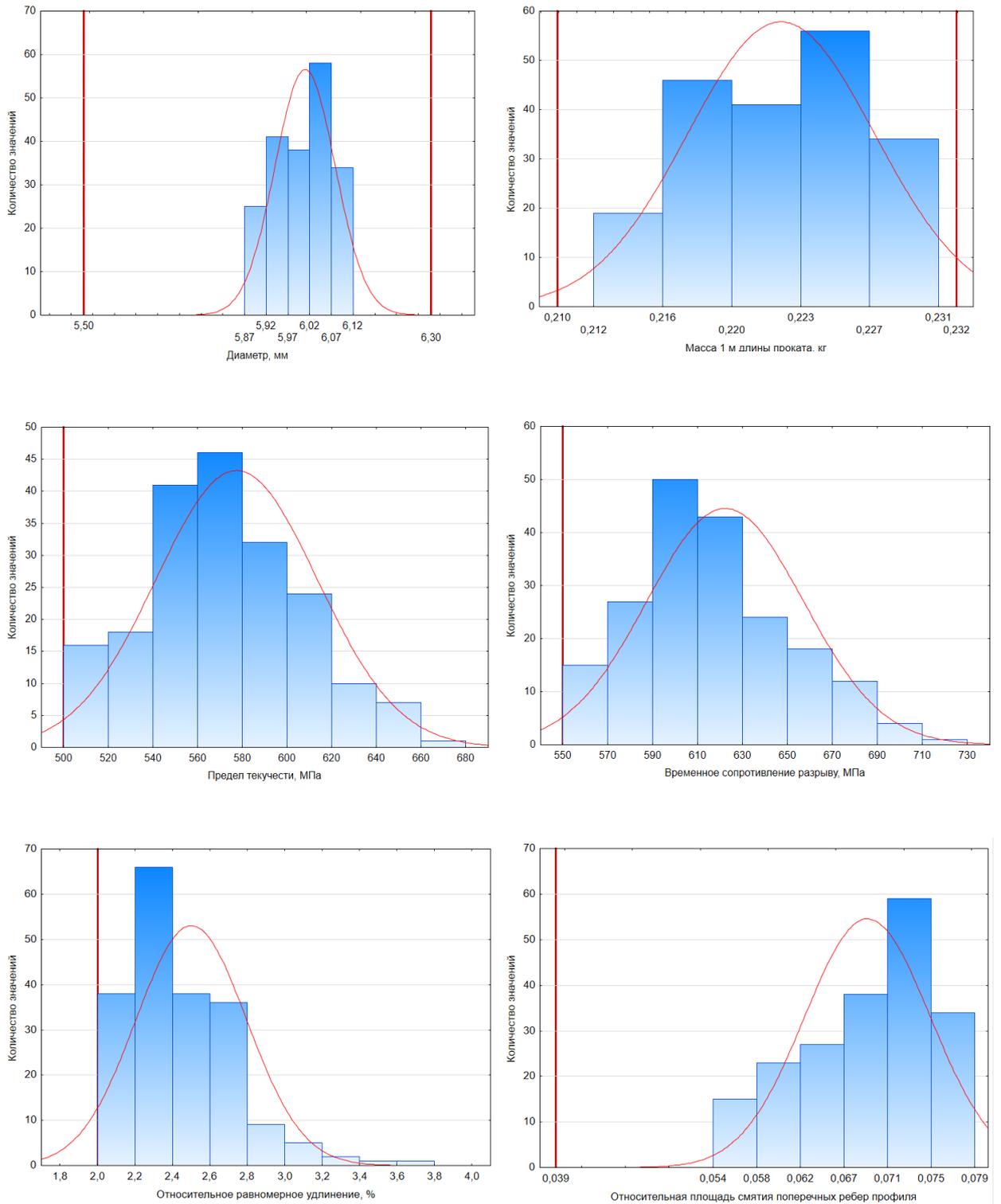


Рисунок П.1.1 – Частотные распределения свойств проката арматурного класса В500 диаметром 6 мм

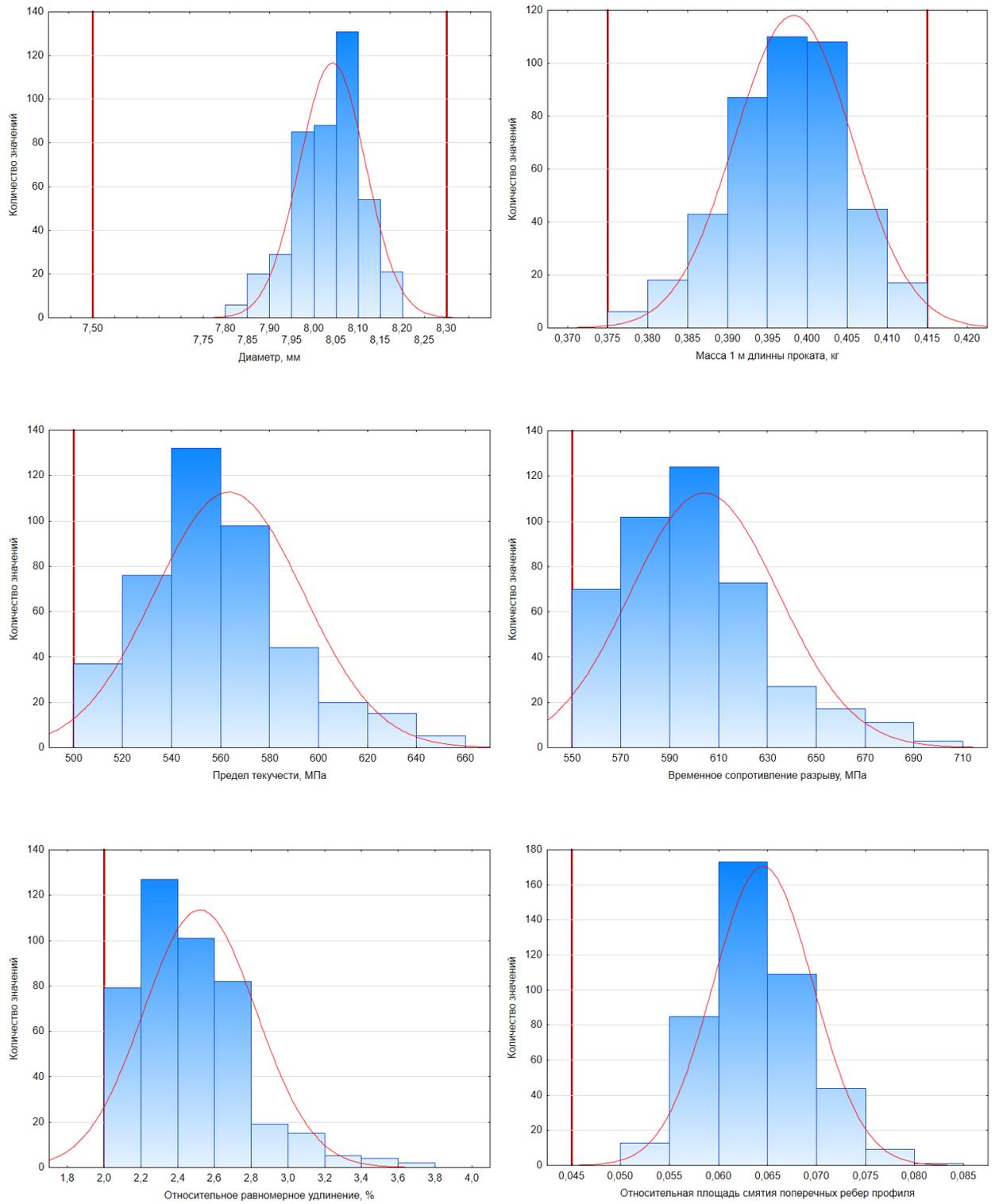


Рисунок П.1.2 – Частотные распределения свойств проката арматурного класса В500 диаметром 8 мм

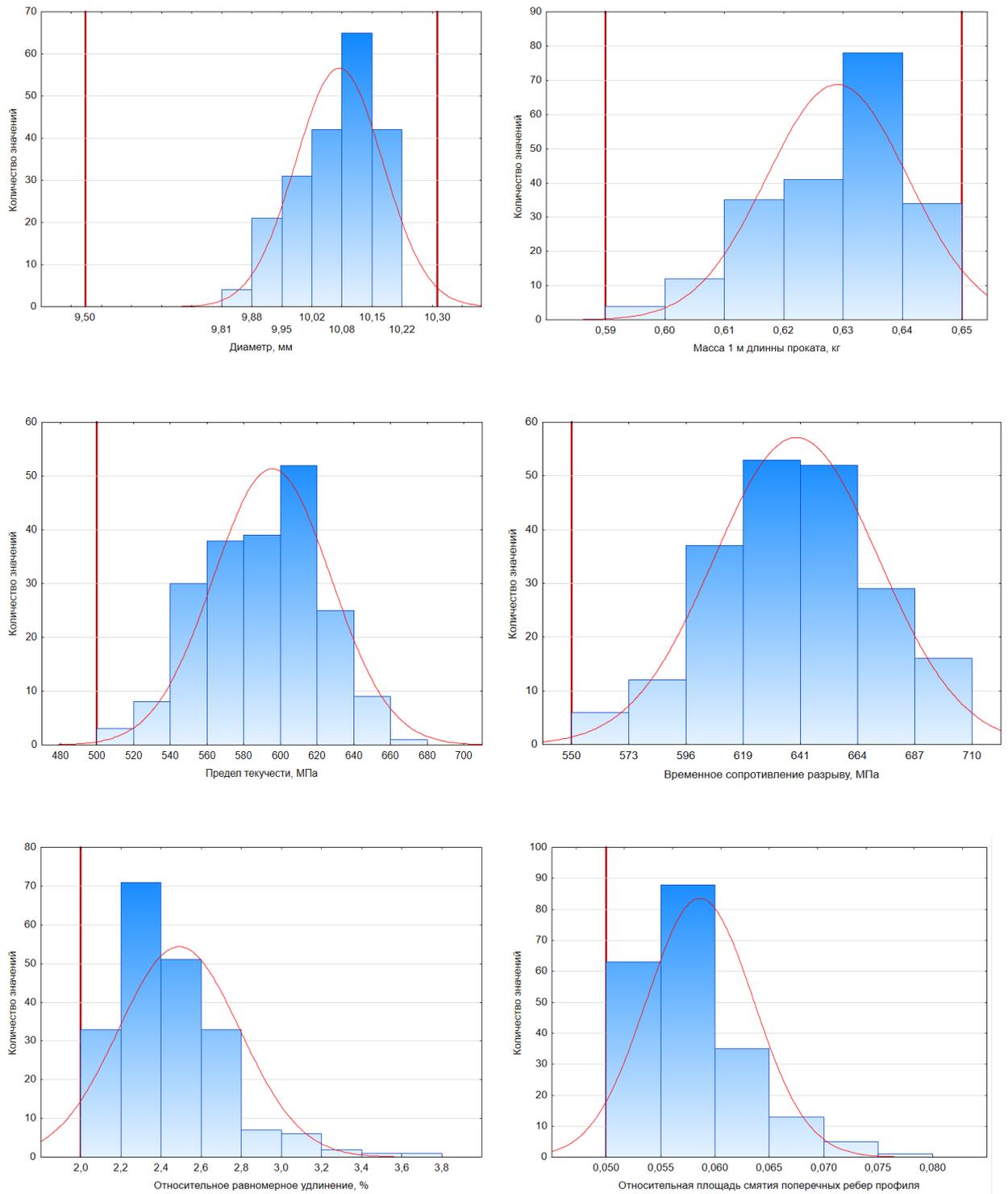


Рисунок П.1.3 – Частотные распределения свойств проката арматурного класса В500 диаметром 10 мм

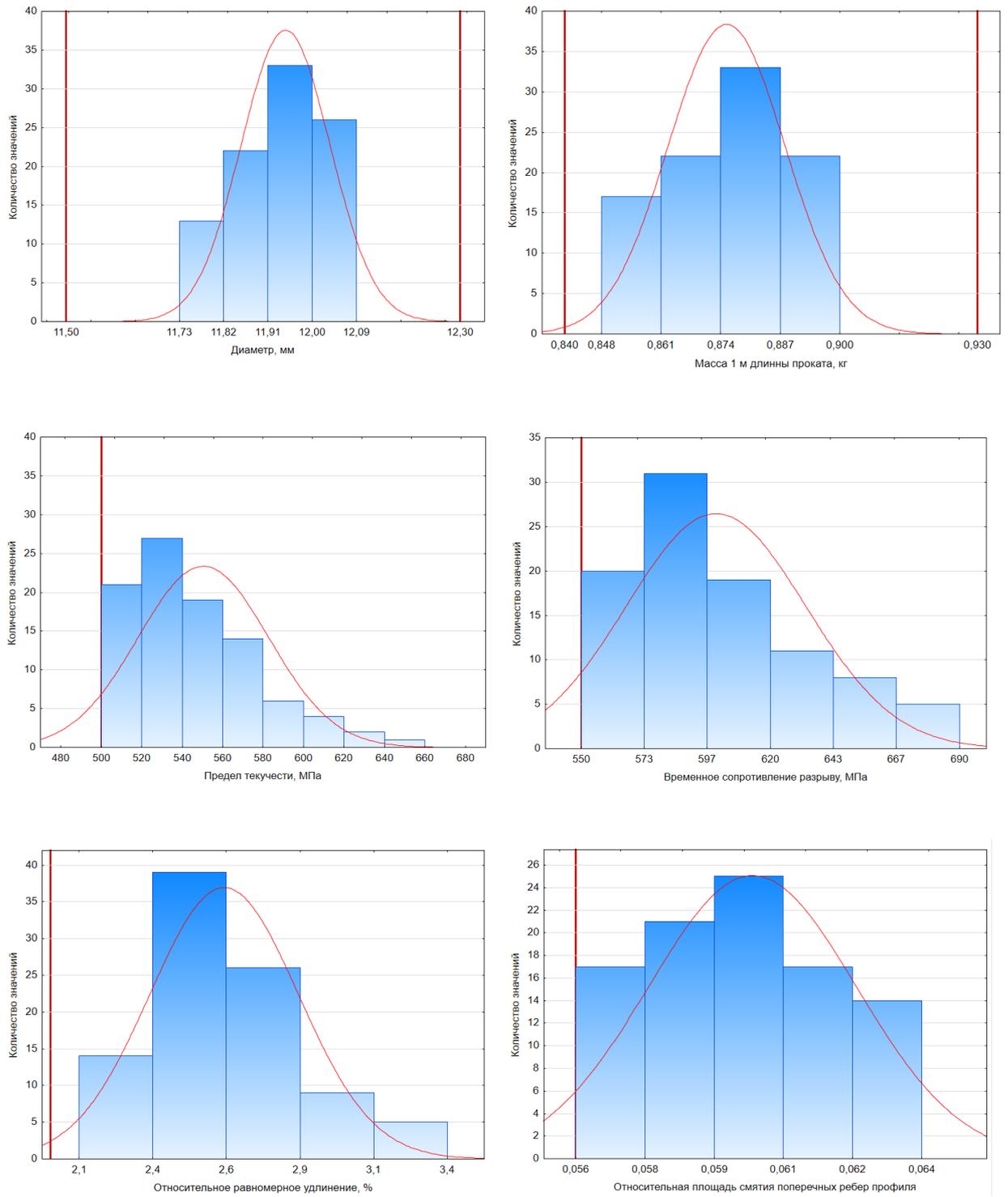
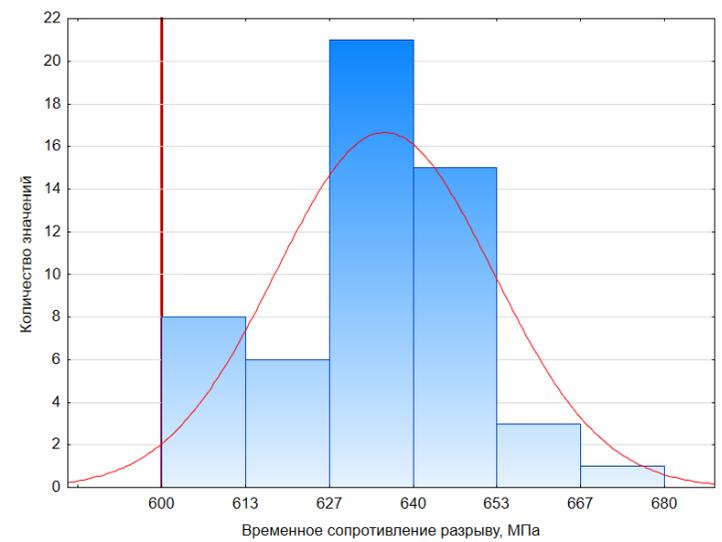
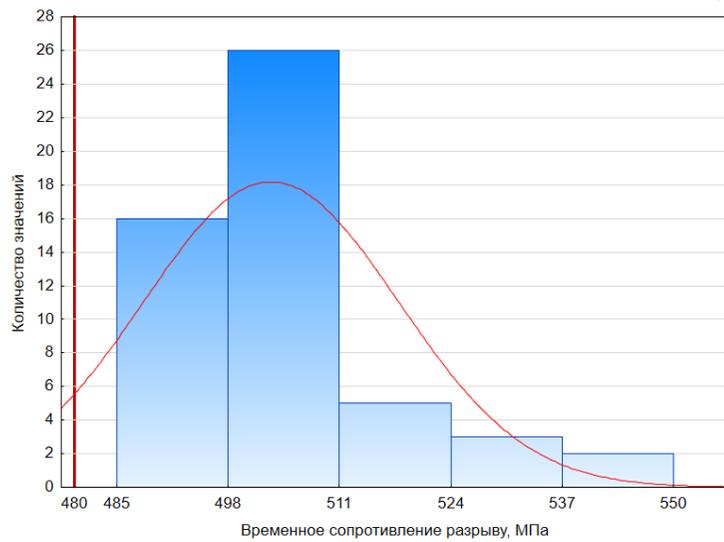
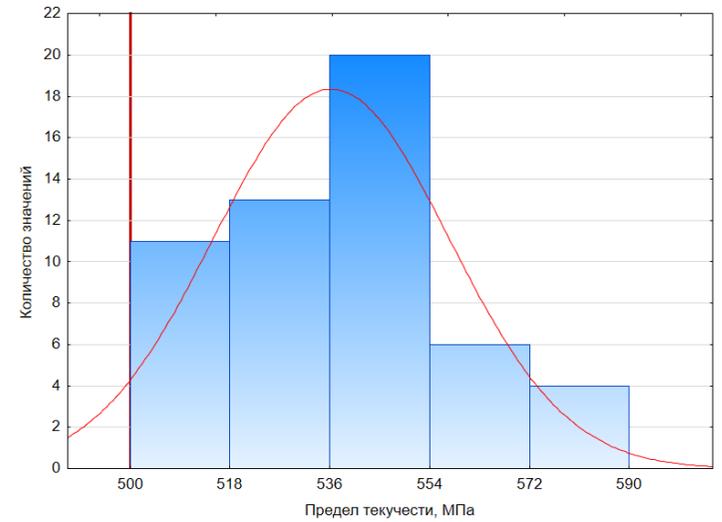
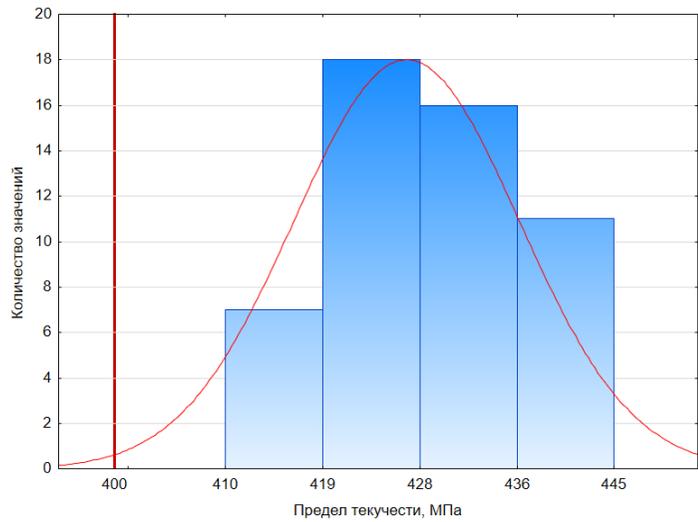


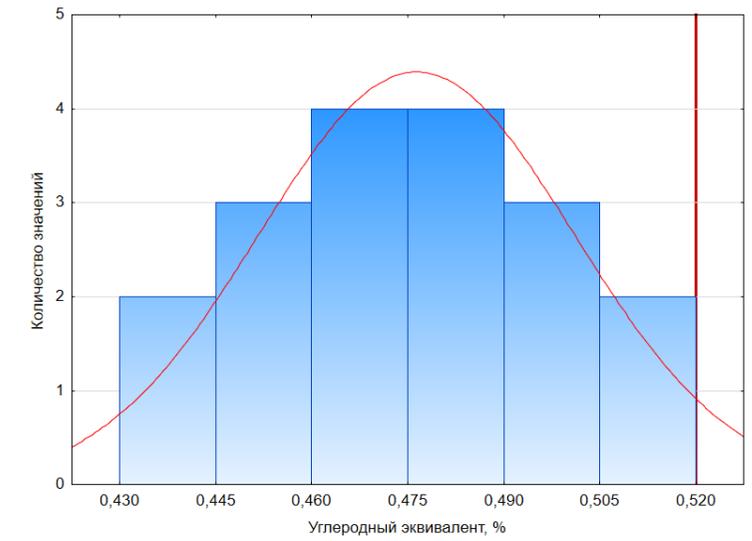
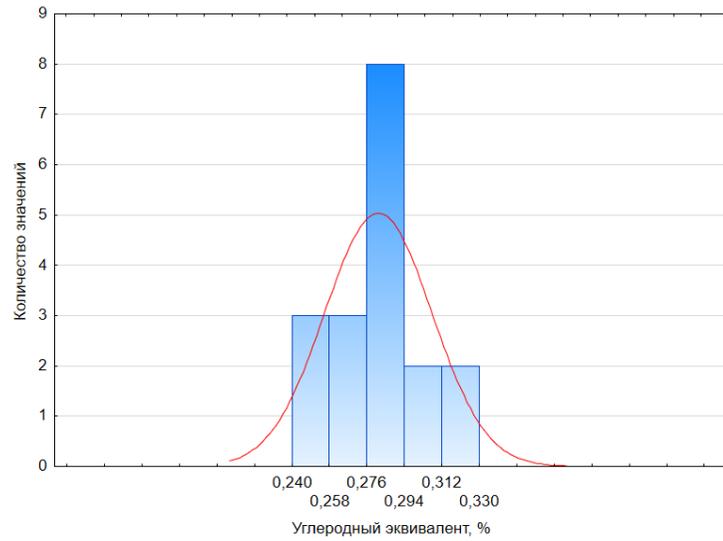
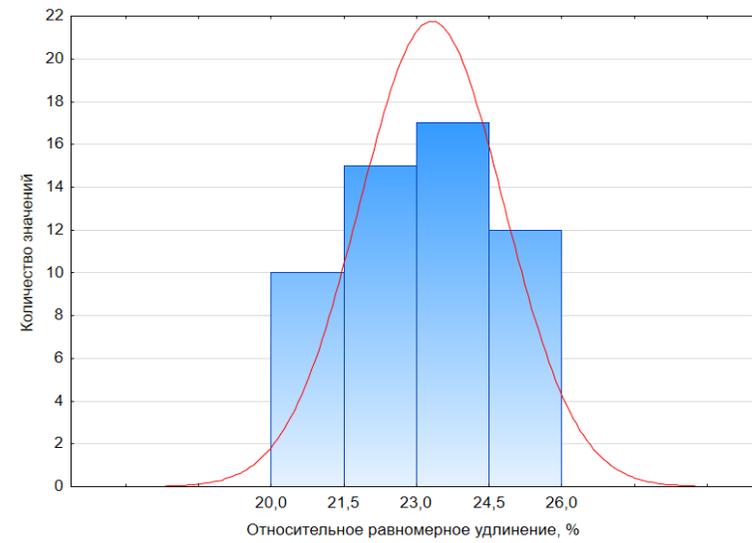
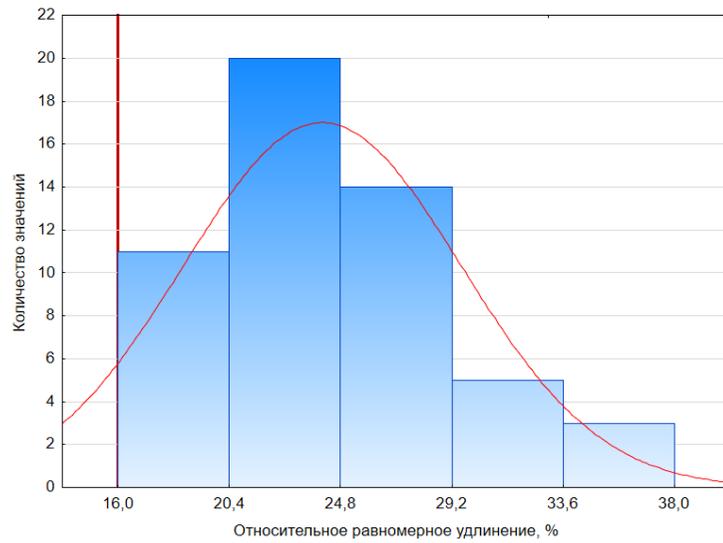
Рисунок П.1.4 – Частотные распределения свойств проката арматурного класса В500 диаметром 12 мм



а

б

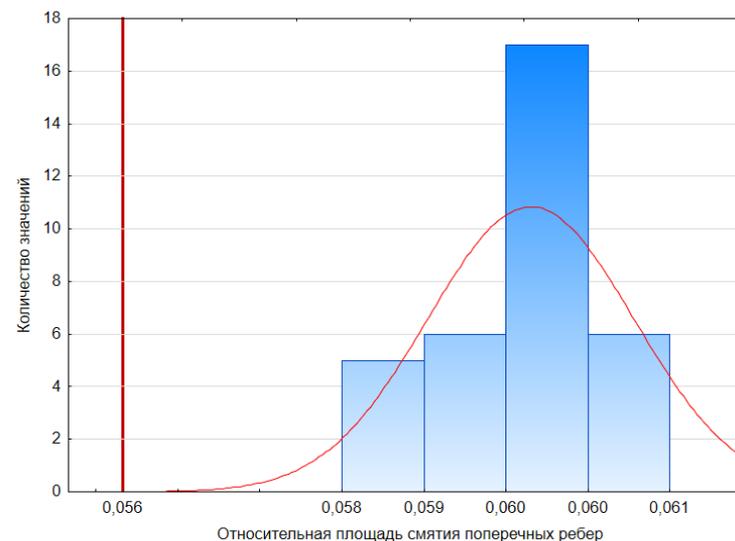
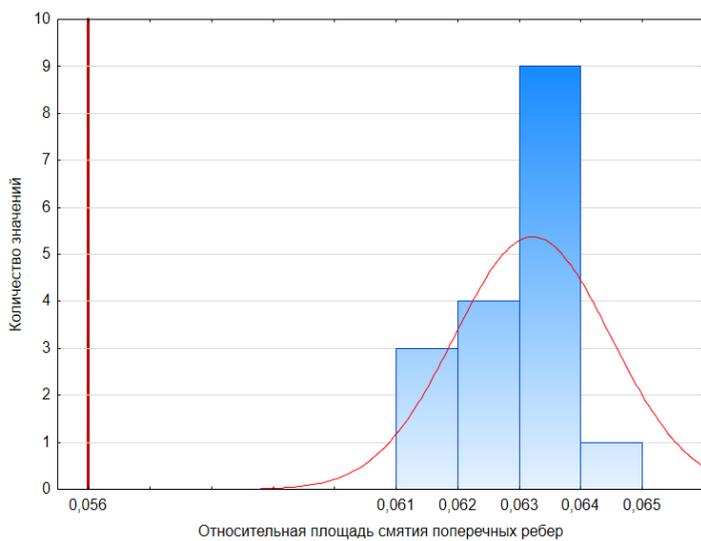
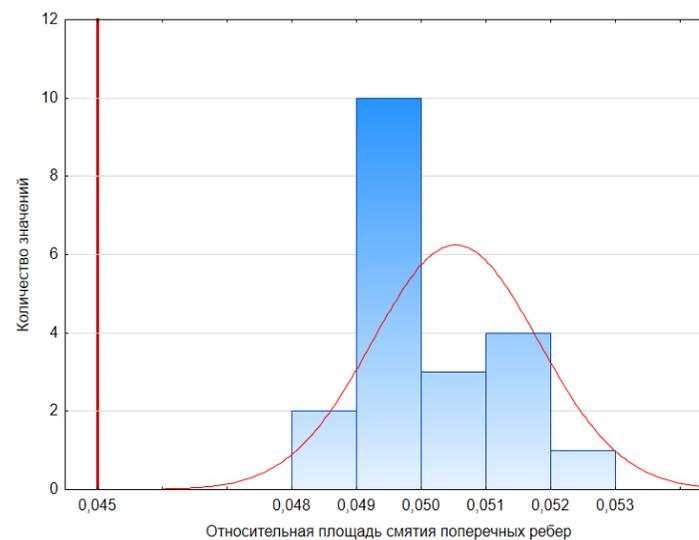
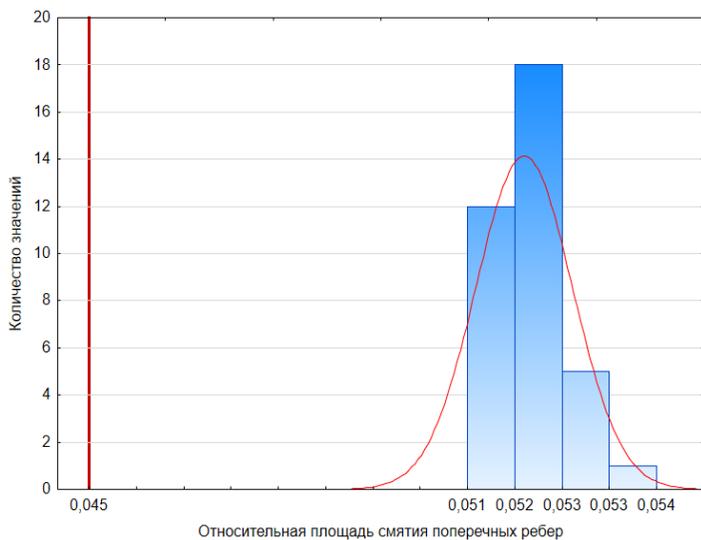
Рисунок П.2.1 – Гистограмма распределения частот предела текучести и временного сопротивления разрыву для проката арматурного классов А400С (а) и А500С (б)



а

б

Рисунок П.2.2 – Гистограмма распределения частот относительного равномерного удлинения и углеродного эквивалента для проката арматурного классов А400С (а) и А500С (б)



а

б

Рисунок П.2.3 – Гистограмма распределения частот относительной площади смятия рёбер для проката арматурного классов А400С (а) и А500С (б)

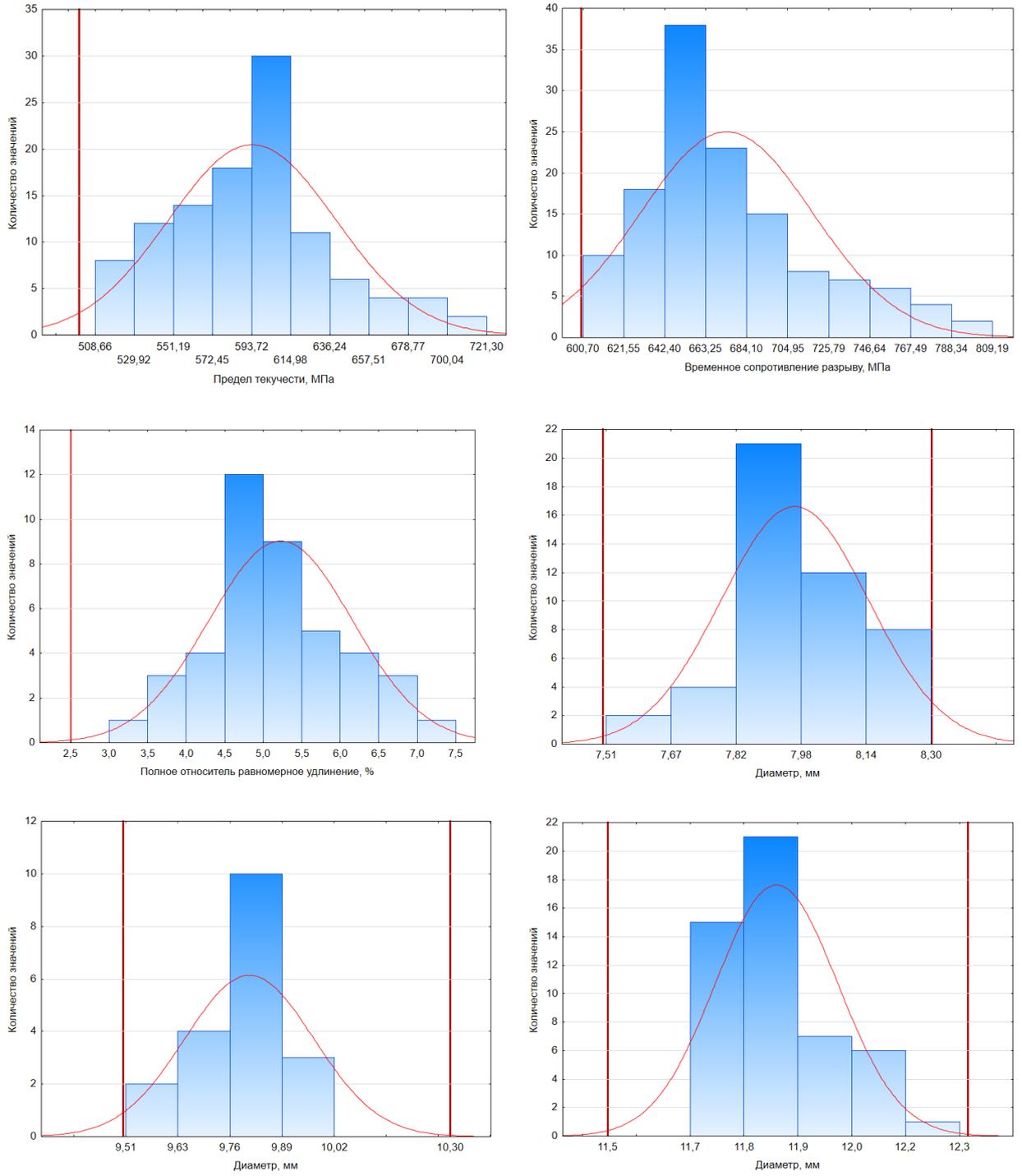


Рисунок П.3.9 – Частотные распределения показателей качества проката арматурного класса А500У

www.estroy.ru


НИЦ «Строительство»
 научно-исследовательский центр

 АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
 «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ЦЕНТР «СТРОИТЕЛЬСТВО»

УТВЕРЖДАЮ

 Руководитель
 Сертификационного центра
 АО «НИЦ «Строительство»,
 кандидат технических наук
 И.Г. Саврасов
 «21» 01 2020 г.


АКТ

 о принятии к использованию
 результатов диссертационного исследования
 Петрова Игоря Михайловича

В рамках диссертационного исследования Петровым И.М. разработана методика, позволяющая проводить количественную оценку промышленных процессов производства проката арматурного. Представленные результаты представляют несомненный практический интерес, так как данный вид металлопродукции имеет широкую номенклатуру и производится по различным технологическим схемам. С введением в действие нового межгосударственного стандарта ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия», который предоставляет производителю самостоятельно выбирать технологический процесс производства, использование разработанной Петровым И.М. методики позволяет научно обоснованно и аргументировано определять технологию производства проката арматурного при гарантированном соответствии его свойств требованиям действующей нормативной и технической документации.

Предложенный в диссертационной работе алгоритм может быть рекомендован к практическому внедрению, т.к. позволяет получить количественную оценку уровня конкурентоспособности технологических процессов, используемых в настоящее время производителями проката арматурного, с учетом существующих производственных факторов и экономической целесообразности.

С практической точки зрения результаты исследования, содержащиеся в диссертационной работе Петрова И.М., представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.23 - Стандартизация и управление качеством продукции, являются основой для решения ряда практических задач производителей металлопродукции.

 Заместитель руководителя
 Сертификационного центра
 АО «НИЦ «Строительство»,
 кандидат технических наук

А.А. Квасников

 Исп. Воробьева И.А.
 тел.(499)174-77-38



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

О.Л. Назарова

« 16 » 09 2020 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе
 ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
 технический университет им. Г.И. Носова»
 результатов диссертационной работы Петрова Игоря Михайловича

Результаты диссертационной работы Петрова И.М. внедрены в учебный процесс на основании рекомендации методической комиссии института металлургии, машиностроения и материалообработки, а также внедрены в учебный процесс на кафедре металлургии и стандартизации в филиале ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» в г. Белорецк на основании решения методической комиссии филиала.

Материалы диссертационного исследования используются в образовательном процессе подготовки студентов по направлению 22.03.02 «Металлургия» (уровень бакалавриата) для чтения лекций и проведения практических занятий, использованы при написании методических указаний по дисциплинам «Планирование эксперимента», «Сбор и обработка статистической информации».

Обучающиеся используют полученные Петровым И.М. в ходе диссертационных исследований результаты при проведении научной-исследовательской работы, выполнении выпускных квалификационных работ.

Рассмотренные в диссертационной работе вопросы особенностей количественной оценки эффективности технологических процессов производства проката арматурного позволяют сформировать у обучающихся понимание специфики существующих процессов, особенностей их оценки, факторов, которые используются для оценки технологических процессов производства металлопродукции. Приведенные в диссертационной работе результаты статистической обработки результатов испытаний проката арматурного демонстрируют обучающимся пути возможного применения на практике полученных теоретических знаний.

Внедрение результатов диссертационной работы Петрова И.М. в учебный процесс позволяет расширить и углубить знания студентов в области стандартизации.

Председатель методической комиссии
 института металлургии, машиностроения
 и материалообработки

А.С. Савинов