

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.771

DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-3-89-96



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИСТОПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Шопин И.И.

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

**Аннотация.** Совершенствование процессов и улучшение операционной эффективности – важная задача для современного металлургического предприятия. Особенно важно это в наметившихся тенденциях ближайшего десятилетия: рост цен на сырье, материалы и энергоносители, совместно с падением мирового спроса на рядовые марки металлопроката. Значимый вклад в ухудшение операционной эффективности прокатных производств вносят негативные технологические события. Негативные технологические события – это нецелевой результат технологического процесса, который приводит к временным или ресурсным потерям. Наиболее типичными негативными технологическими событиями в прокатных производствах являются обрывы полосы, уводы в накопителях непрерывных агрегатов, дефекты поверхности или потеря рулонами устойчивости (проседание рулона или образование дефекта внутренней образующей рулона – «птичка»). Ключевой сложностью в работе с негативными технологическими событиями является их относительная редкость, так как типичная доля дефектного металла, полос с обрывами или уводами в накопителях менее одного процента. Эта особенность негативных технологических событий в прокатных производствах приводит к необходимости тщательной подготовки исходных данных для последующего анализа. Поэтому также важно рассматривать не только усредненные данные по длине обрабатываемых полос, но и временные тренды технологических параметров с привязкой негативных технологических событий к конкретной и точной координате по длине полосы. В статье представлен обзор применения методики работы с наиболее типичными негативными технологическими событиями прокатных производств в условиях прокатных производств ПАО «НЛМК». Ключевым элементом в методике анализа негативных технологических событий является применение бинарной логистической регрессии для выявления влияющих факторов и оценки их степени влияния. Целью статьи является описание роли негативных технологических событий в операционной эффективности прокатных производств. Научная новизна работы состоит в методике анализа и поиска путей снижения потерь от негативных технологических событий.

**Ключевые слова:** прокатное производство, операционная эффективность, негативные технологические события, обрывы, уводы, дефекты поверхности, потеря устойчивости

© Шопин И.И., 2023

### Для цитирования

Шопин И.И. Повышение эффективности листопрокатных производств на основе предупреждения негативных технологических событий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №3. С. 89-96. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-89-96>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

## INCREASING THE EFFICIENCY OF SHEET ROLLING MILLS BY PREVENTING NEGATIVE TECHNOLOGICAL EVENTS

Shopin I.I.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

**Abstract.** Improving processes and increasing the operating efficiency are an important task for a modern metallurgical enterprise. This is especially important in the emerging trends of the next decade: rising prices for raw materials, materials and utilities, accompanied by a drop in a global demand for ordinary grades of rolled products. A significant contribution to the lower operating efficiency of rolling mills is made by negative technological events. Negative technological events are an untargeted result of a technological process that leads to losses of time or resources. The most typical negative technological events on rolling mills are strip breaks, deviations in loopers of continuous units, surface defects or collapsed coils (coil slumping or a defect in the inner generatrix of coils, namely crumpled coils). The key difficulty in dealing with negative technological events is their relative rarity, since a typical share of defective metal, strips with breaks or deviations in loopers is less than one percent. This feature of negative technological events on rolling mills leads to the need for a careful preparation of initial data for a subsequent analysis. Therefore, it is also important to factor into not only averaged data on length of treated strips, but also time trends of technological parameters with the assignment of negative technological events to a specific and exact coordinate along the strip length. The paper presents an overview of the application of the methodology for dealing with the most typical negative technological events on rolling mills at PJSC NLMK. A key element in the methodology for analyzing negative technological events is the use of binary logistic regression to identify influencing factors and assess their degree of influence. The paper is aimed at describing the role of negative technological events in the operating efficiency of rolling mills. The scientific novelty of the research lies in the methodology for analyzing and finding ways to reduce losses from negative technological events.

**Keywords:** rolling mills, operating efficiency, negative technological events, breaks, deviations, surface defects, collapsed coils

### For citation

Shopin I.I. Increasing the Efficiency of Sheet Rolling Mills by Preventing Negative Technological Events. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik Of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 3, pp. 89-96. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-89-96>

### Введение

Перспективы ближайшего десятилетия в металлургической промышленности – это высочайший уровень конкуренции при падающем спросе и росте цен на энергоносители. Это обстоятельство порождает высокую потребность во внедрении современных методов повышения эффективности (бс, бережливое производство (LEAN), всеобщее обслуживание оборудования (TPM) и пр.), [1-12] которые внедряются долго, медленно и болезненно. У отцов-основателей данных методов (Toyota, Motorola и др.) внедрение заняло десятки лет. При современных тенденциях решающим фактором для выживания металлургической компании является скорость внедрения инноваций.

Основным достоинством данных методов является их универсальность. Они могут применяться в любых производственных или офисных процессах. Недостатком универсальности дан-

ных методов является то, что в некоторых отдельных случаях более эффективными методами совершенствования процессов будут являться узкоспециализированные методики. В случае прокатных производств наиболее типичной потерей являются негативные технологические события. Научная проблематика статьи состоит в исследовании негативных технологических событий (НТС) в прокатном производстве. Исследуемая проблема актуальна для всех металлургических предприятий со станами холодной и горячей прокатки полос.

В анализе негативных технологических событий прокатного производства важное место занимает качество горячекатаного проката, особенно параметры профиля поперечного сечения, неплоскостность и качество поверхности. Большинство НТС, особенно в цехах холодной прокатки, в той или иной степени связаны с данными параметрами подката. Помимо этого, ужесточение требований потребителей плоского ме-

таллопроката к таким показателям качества, как точность геометрических размеров и плоскостность, а также стремление производителя к снижению затрат на изготовление продукции приводит к необходимости повышения эффективности производства. Это особенно актуально в сегодняшней ситуации на рынке металлопроката, характеризующейся снижением цен из-за избытка производственных мощностей в мире.

### **Методика работы с негативными технологическими событиями**

Операционная эффективность – это способность компании к эффективному использованию своих ресурсов (людских, временных, финансовых, технологических и др.) для достижения поставленных целей или выполнения задач. Высокая операционная эффективность означает, что компания работает без избыточных затрат и максимально оптимально использует свои ресурсы, что в итоге позволяет снизить издержки, повысить прибыль и в целом улучшить экономические показатели.

Улучшение операционной эффективности компании приводит к следующему:

1. Снижению издержек. Основная причина повышения операционной эффективности – это сокращение издержек и увеличение прибыли. Компания, которая работает более эффективно, может снизить свои затраты на производство, персонал, материалы и другие расходы. Это позволяет ей увеличить свою прибыль даже без увеличения выручки.

2. Увеличение производительности. Повышение операционной эффективности также позволяет увеличить производительность. Это означает, что компания или организация может производить больше товаров или услуг за то же количество времени или ресурсов, что повышает ее конкурентоспособность.

3. Улучшение качества. Путем повышения операционной эффективности можно улучшить качество продукции или услуг. Улучшение процессов и оптимизация бизнес-процессов способствуют повышению точности и эффективности выполнения задач, что ведет к улучшению качества продукции или услуг.

4. Улучшение репутации. Компании и организации с высоким уровнем операционной эффективности имеют хорошую репутацию на рынке. Это позволяет им привлекать новых клиентов, удерживать существующих и увеличивать свою долю на рынке.

5. Создание основы быстрой и эффективной разработки новых продуктов и технологий. Отсутствие сбоев и отклонений (то есть особых причин) в технологических и производственных процессах минимизирует разброс получаемых результатов. В свою очередь, высокая стабильность результатов процесса позволяет проводить эксперименты с меньшим объемом экспериментального металла, разрабатывать и реализовывать более сложные экспериментальные планы, различать в экспериментальных данных эффекты от взаимодействия.

В целом повышение операционной эффективности является важным аспектом развития любой компании или организации и способствует ее успешной работе и процветанию.

Онтологически производственный процесс – это совокупность действий персонала, направленная на обеспечение технологического процесса с целью получения качественной готовой продукции. Высокая операционная эффективность производственных процессов не может быть достигнута локально за счет спорадических улучшений и требует целостного рассмотрения производственного процесса как в горизонтальном разрезе – движение заготовки по переделам, так и в вертикальном – высокая надежность оборудования, обеспечение качественными материалами и сырьем, квалифицированным персоналом, должной и своевременной информацией (**рис. 1**).

Технологический процесс – более узкое понятие, чем производственный процесс и включает в себя только те события, которые напрямую направлены на создание требуемых потребительских свойств готовой продукции. Отсюда вытекает определение негативного технологического события (НТС) – неожиданное ухудшение результатов технологического процесса. Это может быть простой, снижение производительности, увеличение расхода сырья или материалов, возникновение дефектов и снижение качества.

Типичными негативными технологическими событиями в прокатном производстве являются: потеря рулоном устойчивости (проседание рулона или дефект «птичка» [13]), обрывы полос в линии агрегатов [14-18], уводы полосы в накопителях непрерывных агрегатов, возникновение дефектов поверхности полосы, вынужденное снижение скорости для пропуска дефекта полосы через агрегат, отслоения и выкрошки рабочих валков прокатного стана, забуривания полосы, сваривание витков рулона при обработке в колпаковых печах и т.д. и т.п.

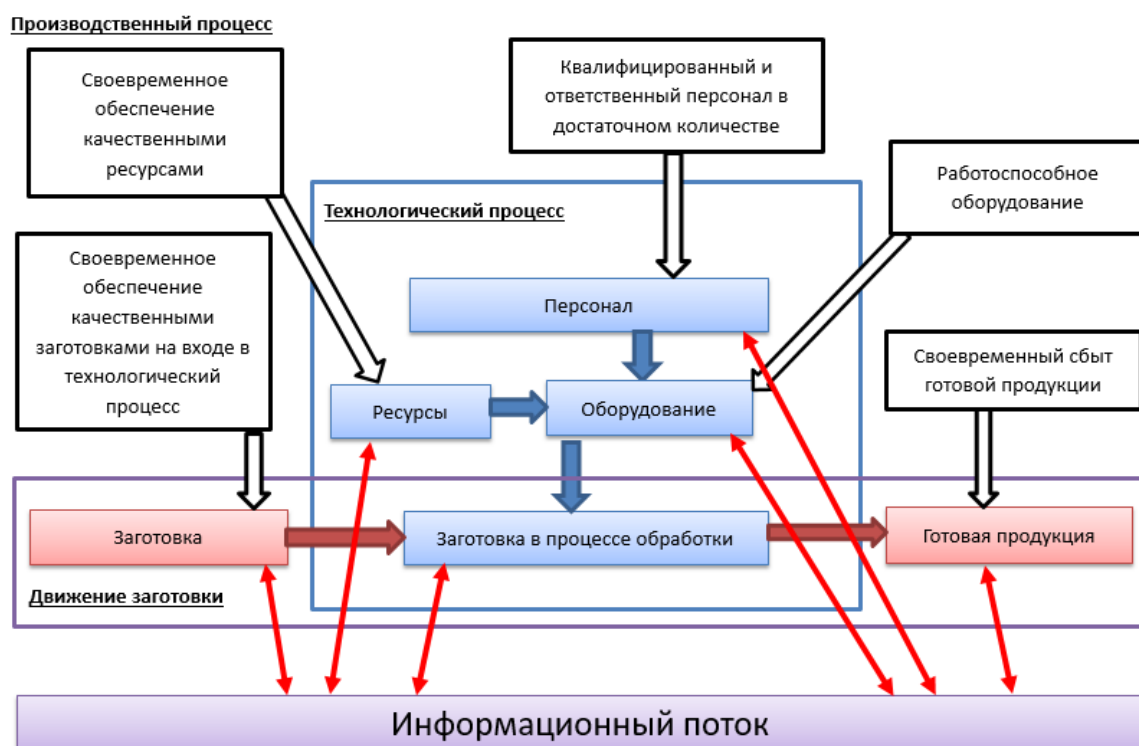


Рис. 1. Производственный процесс  
Fig. 1. A manufacturing process

Негативные технологические события имеют более широкое воздействие, чем технологический процесс. Например, увеличение количества обрывов полос в линии стана холодной прокатки приводит:

- к накоплению маловесных рулонов и, как следствие, снижению производительности последующих агрегатов отжига;
- к увеличению расхода рабочих и опорных валков и, как следствие, дополнительной нагрузке на вальцешлифовальную мастерскую;
- дополнительным ударным нагрузкам на оборудование прокатного стана и, как следствие, увеличению количества отказов и сбоев в его работе.

Кумулятивный эффект негативных технологических событий может приводить к существенному снижению операционной эффективности прокатного производства. Однако оценка кумулятивного эффекта негативного технологического события на производственный процесс, как правило, является непростой задачей и требует применения специальных методов математического моделирования.

Важно не только оценивать последствия от НТС, но и искать пути снижения или полного их устранения. С этой целью можно выделить три ключевых направления работ:

- Снижение вероятности возникновения НТС за счет поиска и устранения первопричин. В рамках данного направления НТС может быть полностью устранено или радикально снижена частота его возникновения. Однако поиск первопричин (или нескольких первопричин) сам по себе является сложной задачей, а их устранение может быть очень дорогим (то есть требовать замены или модернизации оборудования) или вообще невозможно из-за особенностей технологии или оборудования.

- Создание гибкой технологии на основе прогнозной модели НТС. Если первопричина НТС связана с подкатом (например, причиной обрыва полосы на стане холодной прокатки может быть плохой профиль подката) или с сочетанием нескольких влияющих факторов (например, причиной дефекта «излом» после отжига в колпаковых печах может быть одновременное снижение шероховатости полосы и высокая скорость нагрева рулонов), можно создать технологический советчик на основе прогнозной модели и, в случае высокой вероятности образования НТС в конкретном случае, менять технологию. Например, в случае плохого профиля подката с целью снижения вероятности обрыва при холодной прокатке изменять профилировку рабочих валков или настраивать клетки на волнистость, а для снижения дефекта «излом» после отжига в

колпаковых печах на металле с низкой шероховатостью снижать скорость нагрева.

– Исключение или радикальное снижение последствий от НТС. Данное направление работ максимально эффективно, когда практически нет возможности уменьшить вероятность наступления НТС. Например, к обрывам полосы на стане холодной прокатки склонны только отдельные типоразмеры и марки стали. Тогда становится возможным прокатывать сортамент, склонный к обрывам, на рабочих валках с минимальными диаметрами (то есть уже получившими большую наработку) и, в случае порыва полосы, воздействие на удельный расход валков будет минимальным.

Если негативное технологическое событие оказывает существенное влияние на производственные процессы, есть смысл начинать работы сразу в трех обозначенных направлениях.

В анализе негативных технологических событий прокатного производства важное место занимает качество горячекатаного проката, особенно параметры профиля поперечного сечения, неплоскостность и качество поверхности. Большинство НТС, особенно в цехах холодной прокатки, в той или иной степени связаны с данными параметрами подката. Помимо этого, ужесточение требований потребителей плоского металлопроката к таким показателям качества, как точность геометрических размеров и плоскост-

ность, а также стремление производителя к снижению затрат на изготовление продукции приводит к необходимости повышения эффективности производства. Это особенно актуально в сегодняшней ситуации на рынке металлопроката, характеризующейся снижением цен из-за избытка производственных мощностей в мире.

Негативные технологические события в прокатных производствах обладают своей спецификой, поэтому наиболее эффективно их анализировать по приведенной ниже методике, состоящей из 4-х шагов.

#### Шаг 1. Локализация негативных технологических событий по длине полосы и подготовка данных для анализа.

Параметры обработки на агрегатах (особенно в цехе горячей прокатки) по длине полосы изменяются значительно, и поэтому НТС необходимо идентифицировать в привязке к длине полосы с точностью не более 10 м. Это наиболее важно предпринять для таких НТС, как дефекты поверхности, обрывы и уводы полос.

Например, распределение обрывов полос в процессе холодной прокатки по длине распределено неравномерно. Обрывы чаще происходят на концевых участках полос (**рис. 2**). Этот этап методики наиболее важен при анализе негативных технологических событий именно в прокатных производствах.

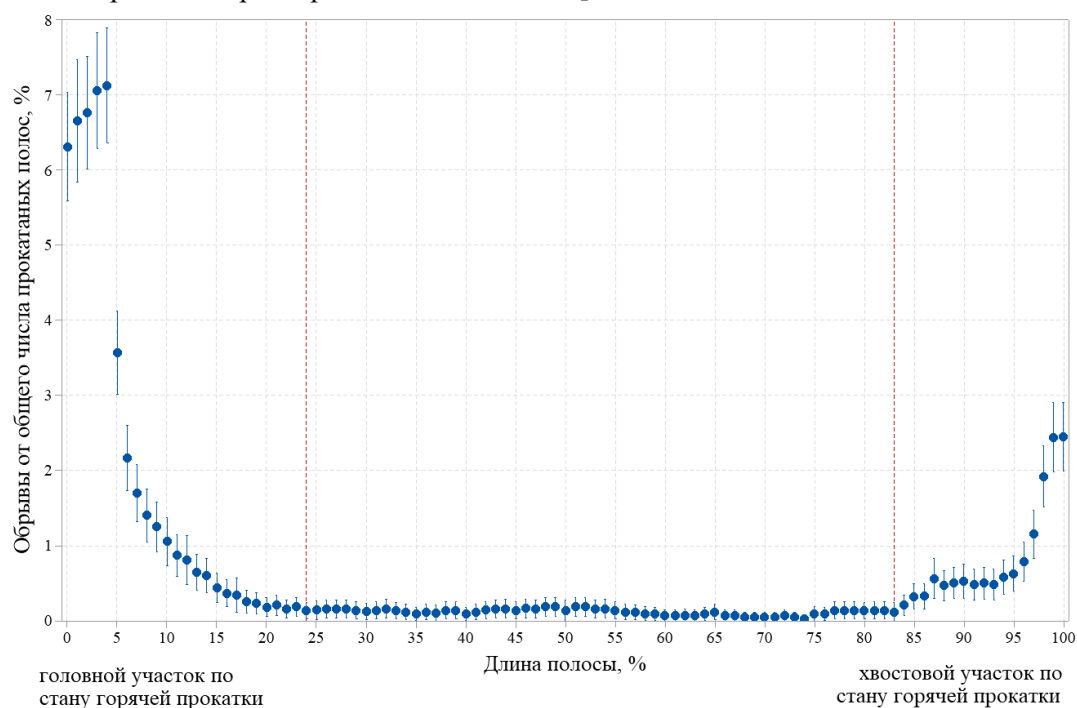


Рис. 2. Распределение обрывов в сортаменте Э3А по длине горячекатаных полос с указанием 95% доверительного интервала

Fig. 2. Distribution of breaks in the E3A product mix by the length of hot rolled strips, indicating a 95% confidence interval

### Шаг 2. Идентификация всех потенциально влияющих факторов.

Для идентификации потенциально влияющих факторов используется матрица причинно-следственных связей [11]. Для этого составляется перечень всех факторов вдоль технологической цепочки и производится экспертная приоритизация факторов для дальнейшего статистического анализа. Для оценки степени влияния также может быть использован графический и статистический анализ [11, 12]. Данный этап не является особенным для прокатных производств и реализуется так же, как и в большинстве универсальных подходов к улучшению процессов.

### Шаг 3. Построение модели процесса.

Для проведения качественного причинно-следственного анализа строится модель процесса на основе бинарной логистической регрессии. Именно данный вид регрессии позволяет работать с дихотомическими переменными, то есть с некоторыми событиями, которые могут произойти или не произойти. Бинарная логистическая регрессия в таком случае рассчитывает вероятность наступления события в зависимости от фактических значений влияющих факторов, чем и отличается от обычной регрессии.

Ключевым отличием применения бинарной логистической регрессии от обычной является разница в оценке адекватности полученной математической модели. В обычной регрессии адекватность модели оценивается по коэффициенту детерминации ( $R^2$ ). Для бинарной логистической регрессии коэффициент детерминации тоже применяется, но полностью охарактеризовать адекватность математической модели не может. Прежде всего это связано с тем, что при работе с негативными технологическими событиями с помощью бинарной логистической регрессии решается задача классификации, и в дополнение к коэффициенту детерминации должны рассчитываться характеристики: доля правильно классифицированных объектов (accuracy – A), точность (precision – P), полнота (recall – R) и F-мера (F1).

Адекватность и практическая ценность полученной математической модели во многом определяется, насколько достоверно и качественно подготовлены данные на этапе 1.

### Шаг 4. Использование модели для улучшения процесса.

Данный шаг имеет две альтернативы. Либо мы анализируем влияющие факторы и определяем оптимальные диапазоны для работы, умень-

шая вероятность НТС, либо мы прогнозируем вероятность НТС и создаем систему превентивного реагирования (например, изменение маршрута обработки, снижение скорости и т.д. и т.п.).

### Полученные результаты и их обсуждение

Последовательное и системное применение методики работы с негативными технологическими событиями позволило в разное время получить следующие практические результаты в условиях ПАО «НЛМК»:

1. Снизить количество рулонов с дефектом «птичка» с 156 до 37 шт./мес. При этом расходный коэффициент на АПх/кР-1,2 цеха динамных сталей (ЦДС) снизился примерно на 1,5 кг/т.

2. Практически исключить проседания рулонов на АПП-3 и, как следствие, снизить расходный коэффициент с 1,0013 до 1,0003 т/т, выход брака с 0,0411 до 0,0047% и выход несоответствующей продукции с 0,3168 до 0,2860%.

3. Снизить обрывность на стане холодной прокатки 1400 ЦДС при обработке трансформаторной стали с 205 до 48 случаев в год.

4. Снизить количество внеплановых перевалок рабочих валков по причине образования дефекта поверхности «пробуксовка» с 48 до 2 случаев в месяц.

5. Увеличить долю рулонов, обрабатываемых без АПг/кР ЦДС, с 44 до 66%, без увеличения производственных потерь на НТА ЦДС.

6. Значительно снизить количество уводов полосы во входном накопителе НТА ЦДС и, как следствие, улучшить расходный коэффициент с 7,5 до 6,8 кг/т.

### Заключение

Улучшение операционной эффективности прокатных производств может осуществляться за счет системной работы по предупреждению негативных технологических событий. Наиболее эффективным инструментом в таком случае будет методика работы с негативными технологическими событиями. Эффективность методики подтверждают полученные результаты её применения в условиях ПАО «НЛМК».

### Список источников

1. Круглов М.Г. Инновационный проект: управление качеством и эффективностью: учеб. пособие. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2011. 336 с.
2. Марр Б. Ключевые инструменты бизнес-аналитики. 67 инструментов, которые должен знать каждый менеджер. М.: Лаборатория знаний, 2018. 339 с.

3. Бизнес-процессы промышленного предприятия: учеб. пособие / Кельчевская Н.Р., Сироткин С.А., Пельмская И.С., Исмагилова Г.В. Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. 339 с.
4. Путилов А.В., Черняховская Ю.В. Коммерциализация технологий и промышленные инновации: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2018. 324 с.
5. Ключев А.В. Концепция бережливого производства: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2013. 88 с.
6. Лайкер Д., Трахилис Й. Лидерство на всех уровнях бережливого производства: Практическое руководство. М.: Изд-во «Альпина Паблишер», 2018. 336 с.
7. ГОСТ Р 56907-2016. Бережливое производство. Визуализация. М.: Стандартинформ, 2017. 6 с.
8. ГОСТ Р 56908-2016. Бережливое производство. Стандартизация работы. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.
9. ГОСТ Р 56906-2016. Бережливое производство. Организация рабочего пространства (5S). М.: Стандартинформ, 2016. 9 с.
10. ГОСТ Р 57524-2017. Бережливое производство. Поток создания ценности. М.: Стандартинформ, 2015. 13 с.
11. ГОСТ Р ИСО 13053-1-2015. Статистические методы. Количественные методы улучшения процессов Шесть сигм. Ч. 1. Методология DMAIC. М.: Стандартинформ, 2016. 26 с.
12. ГОСТ Р ИСО 13053-2-2015. Статистические методы. Количественные методы улучшения процессов Шесть сигм. Ч. 2. Методы. М.: Стандартинформ, 2016. 42 с.
13. Бельский С.М., Щедрин И.Н., Шопин И.И. Решение проблемы потери устойчивости рулонами из стальной полосы с полимерным покрытием // Производство проката. 2018. №7. С. 5-8.
14. Бельский С.М., Шопин И.И. Применение коэффициента седловидности для оценки качества горячекатаной полосы // Черные металлы. 2019. №9. С. 9-13.
15. Бельский С.М., Шопин И.И. Математическая модель вероятности обрыва полосы при холодной прокатке // Черные металлы. 2020. №3. С. 18-23.
16. Belskiy S.M., Shopin I.I. Statistical Regression Analysis of Breakages in Cold Rolling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Russian Conference on Materials Science and Metallurgical Technology (RusMetalCon 2020), Chelyabinsk, Russian Federation, 22-24 September 2020, vol. 969, p. 012074.
17. Belskiy S.M., Shopin I.I. On Issue of Strip's Break during Cold Rolling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Russian Conference on Materials Science and Metallurgical Technology (RusMetalCon 2020), Chelyabinsk, Russian Federation, 22-24 September 2020, vol. 969, p. 012072.
18. Belskiy S.M., Shopin I.I., Safronov A.A. Improving Efficiency of Rolling Production by Predicting Negative Technological Events // Defect and Diffusion Forum, 2021, vol. 410, pp. 96-101.

#### References

1. Kruglov M.G. *Innovatsionny proekt: upravlenie kachestvom i effektivnostyu: ucheb. posobie* [An innovative project: quality and efficiency management: study guide]. Moscow: Delo Publishing House of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 2011, 336 p. (In Russ.)
2. Marr B. *Klyuchevye instrumenty biznes-analitiki. 67 instrumentov, kotorye dolzhen znat kazhdy menedzher* [Key tools of business analytics. 67 tools that every manager should know]. Moscow: Laboratory of Knowledge, 2018, 339 p. (In Russ.)
3. Kelchevskaya N.R., Sirotkin S.A., Pelymskaya I.S., Ismagilova G.V. *Biznes-protsessy promyshlennogo predpriyatiya: ucheb. posobie* [Business processes of an industrial enterprise: study guide]. Yekaterinburg: Ural Federal University, 2016, 339 p. (In Russ.)
4. Putilov A.V., Chernyakhovskaya Yu.V. *Kommertsializatsiya tekhnologiy i promyshlennye innovatsii: ucheb. posobie* [Commercialization of technologies and industrial innovations: study guide]. Saint Petersburg: Lan Publishing House, 2018, 324 p. (In Russ.)
5. Klyuev A.V. *Kontseptsiya berezhlivogo proizvodstva: ucheb. posobie* [The concept of lean production: study guide]. Yekaterinburg: Ural Federal University, 2013, 88 p. (In Russ.)
6. Liker J., Trachilis G. *Liderstvo na vsekh urovnyakh berezhlivogo proizvodstva: Prakticheskoe rukovodstvo* [Developing lean leaders at all levels: A practical guide]. Moscow: Alpina Publisher, 2018, 336 p. (In Russ.)
7. GOST R 56907-2016. *Berezhlivoe proizvodstvo. Vizualizatsiya* [Lean production. Visualization]. Moscow: Standartinform, 2017, 6 p. (In Russ.)
8. GOST R 56908-2016. *Berezhlivoe proizvodstvo. Standartizatsiya raboty* [Lean production. Work standardization]. Moscow: Standartinform, 2016, 10 p. (In Russ.)
9. GOST R 56906-2016. *Berezhlivoe proizvodstvo. Organizatsiya rabochego prostranstva (5S)* [Lean production. Workspace organization method (5S)]. Moscow: Standartinform, 2016, 9 p. (In Russ.)
10. GOST R 57524-2017. *Berezhlivoe proizvodstvo. Potok sozdaniya tsennosti* [Lean production. Value stream]. Moscow: Standartinform, 2015, 13 p. (In Russ.)
11. GOST R ISO 13053-1-2015. *Statisticheskie metody. Kolichestvennye metody uluchsheniya protsessov Shest sigm. Ch. 1. Metodologiya DMAIC* [Statistical methods. Quantitative methods for improving the Six Sigma processes. Part 1. DMAIC methodology]. Moscow: Standartinform, 2016, 26 p. (In Russ.)
12. GOST R ISO 13053-2-2015. *Statisticheskie metody. Kolichestvennye metody uluchsheniya protsessov Shest sigm. Ch. 2. Metody* [Statistical methods. Quan-

- titative methods for improving the Six Sigma processes. Part 2. Methods]. Moscow: Standartinform, 2016, 42 p. (In Russ.)
13. Belsky S.M., Shchedrin I.N., Shopin I.I. Solution to the problem of collapsed coils from color coated steel strips. *Proizvodstvo prokata* [Manufacturing Rolled Products]. 2018;(7):5-8. (In Russ.)
  14. Belsky S.M., Shopin I.I. Application of the saddle coefficient to assess the quality of hot rolled strips. *Chernye metally* [Ferrous Metals]. 2019;(9):9-13. (In Russ.)
  15. Belsky S.M., Shopin I.I. A mathematical model of the probability of strip breaks during cold rolling. *Chernye metally* [Ferrous Metals]. 2020;(3):18-23. (In Russ.)
  16. Belskiy S.M., Shopin I.I. Statistical regression analysis of breakages in cold rolling. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Russian Conference on Materials Science and Metallurgical Technology (RusMetalCon 2020), Chelyabinsk, Russian Federation, 22-24 September 2020, vol. 969, p. 012074.
  17. Belskiy S.M., Shopin I.I. On issue of strip's break during cold rolling. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Russian Conference on Materials Science and Metallurgical Technology (RusMetalCon 2020), Chelyabinsk, Russian Federation, 22-24 September 2020, vol. 969, 012072.
  18. Belskiy S.M., Shopin I.I., Safronov A.A. Improving efficiency of rolling production by predicting negative technological events. Defect and Diffusion Forum. 2021, vol. 410, pp. 96-101.

Поступила 24.08.2023; принята к публикации 11.09.2023; опубликована 25.09.2023  
Submitted 24/08/2023; revised 11/09/2023; published 25/09/2023

**Шопин Иван Иванович** – кандидат технических наук, доцент,  
Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия.  
Email: ShopinII@yandex.ru. ORCID 0000-0002-0092-9026

**Ivan I. Shopin** – PhD (Eng.), Associate Professor,  
Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia.  
Email: ShopinII@yandex.ru. ORCID 0000-0002-0092-9026