

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Ширяева Е.Н., Полякова М.А.

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

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы):** в статье приведены общие сведения о системном анализе как методе, который широко применяется для характеристики технологических и технических систем. На примере технологического процесса горячей прокатки стальной полосы приведена схема, объединяющая систему входных и выходных параметров вещества и существующих потоков энергии и информации. Обозначены основные проблемы для разработки адекватных математических моделей, формализующих оценку надежности действующих технологических процессов производства металлопродукции. **Цель работы:** провести анализ существующих методов оценки надежности технологических и технических систем для обоснования выбора соответствующего метода при решении производственных задач. **Используемые методы:** проведен анализ системы действующих стандартов, регламентирующих надежность в технике. Рассмотрены существующие методы оценки надежности. **Новизна:** новизна проведенного исследования заключается в анализе технологического процесса горячей прокатки на основе системного анализа, что позволяет показать существующие связи между потоками вещества, энергии и информации. Приведена классификация технологических и технических систем, что является основой для научного обоснования выбора метода расчета их надежности. Обозначены области применения существующих методов оценки надежности технологических и технических систем. **Результат:** в статье приведены результаты системного анализа технологического процесса горячей прокатки, что позволяет установить взаимосвязь между требованиями к исходной заготовке и требованиями к готовому стальному прокату. Это является необходимым условием для выбора соответствующих режимов технологического процесса с целью получения готовой продукции с требуемыми свойствами. Представлена характеристика существующих методов оценки надежности технологических и технических систем. **Практическая значимость:** предложенный подход позволяет сделать научно обоснованный выбор необходимого метода оценки надежности с учетом специфических особенностей технологической или технической системы.

**Ключевые слова:** надежность, системный анализ, горячая прокатка стальной полосы, технологическая система, техническая система, метод оценки, стандарт.

### Введение

Современный этап технического развития общества характеризуется интенсивным развитием производительных сил, особое место среди которых занимают средства производства. Усложнение структуры технических объектов, появление новых и совершенствование существующих технологических процессов, повышение требований потребителей к уровню свойств и качеству продукции являются стимулом для использования системного анализа как самих существующих систем, так и их взаимодействий друг с другом.

Как известно, системный анализ представляет совокупность научных методов познания по установлению структурных связей между отдельными элементами исследуемой системы [1–4]. Использование системного анализа эффективно для решения сложных производственных задач, когда процесс принятия решений зависит от

множества факторов в условиях неопределенности [5, 6]. Применение системного анализа позволяет формализовать структуру исследуемого технического объекта, определить связи с другими окружающими его объектами, что во многих случаях позволяет выявить «узкие» места и сформулировать решения по их устранению. Кроме того, формализация структуры технического объекта в виде построения его структурной схемы является эффективным инструментом для разработки математических моделей, учитывающих информацию о внешних воздействующих на систему факторах, что позволяет прогнозировать ее поведение при их изменении [7–11].

В настоящее время производственные процессы представляют сложный комплекс технологических процессов и связанных с ними технических систем (оборудования) с многочисленными связями на различных иерархических уровнях организации. С другой стороны, износ эксплуатируемого оборудования является системной проблемой практически всех отраслей промышленности. В совокупности это приводит

к увеличению вероятности отказов агрегатов, узлов и механизмов, что выдвигает на первый план необходимость решения вопросов надежности технологических и технических систем. В Техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» установлены минимально необходимые требования безопасности машин и (или) оборудования при разработке (проектировании), изготовлении, монтаже, наладке, эксплуатации, хранении, транспортировании, реализации и утилизации в целях защиты жизни или здоровья человека, имущества, охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных, предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей [12].

Наука о надёжности является комплексной наукой и развивается в тесном взаимодействии с другими точными и прикладными науками, такими как физика, химия, математика, материаловедение и др. При изучении вопросов надёжности рассматривают самые разнообразные объекты: изделия, здания и сооружения, агрегаты, оборудование и т.д. Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2008 определение термина «надёжность» (dependability) является собирательным и применяется для описания свойств готовности, а также влияющих на него свойств безотказности, ремонтпригодности и обеспеченности технического обслуживания и ремонта. В стандарте отмечается, что термин «надёжность» применяется только для общего некоего описания свойства. Надёжность является частью более обобщенного понятия – качества (quality), которое определяется в данном стандарте как степень соответствия совокупности присущих характеристик некоторым требованиям.

Однако необходимым количественной оценки степени надёжности технических объектов с учетом особенностей их конструкций и взаимосвязи с другими системами – актуальная задача [13–18]. С этой точки зрения перспективным направлением является использование системного анализа технического объекта, позволяющего установить связи между отдельными элементами данной системы, что может быть использовано в качестве основы для выбора метода оценки надёжности системы.

### Методы исследования

Проектирование новых и совершенствование существующих технологических процессов неизбежно требует использования различных приемов моделирования. Представление технологического процесса в виде модели может с различной сте-

пенью точности описывать происходящие с веществом преобразования, происходящие в ходе технологических операций. При этом построение модели требует применения различных приемов формализации. Так, математическая модель представляет систему уравнений, которая описывает протекание физических явлений или процессов и определяет их зависимости от технологических параметров. Следует учитывать, что для построения математических моделей, с высокой степенью точности описывающих технологические процессы, необходимым условием является учет большого количества внешних и внутренних факторов. Во многих случаях это в значительной мере усложняет процесс моделирования. Логические модели представляют собой описание технологического процесса, однако, такое описание порой бывает избыточным и достаточно трудно поддается формализации. При использовании системного анализа технологический процесс представляется в виде условных обозначений операций, системы входных и выходных параметров, а также существующих потоков вещества, энергии и информации [3–5]. При этом, как правило, не рассматривается взаимодействие и взаимобусловность предшествующих и последующих операций технологии, что, в свою очередь, усложняет процесс разработки технических и принятия эффективных управленческих решений. Системный подход позволяет рассмотреть технологический процесс как сложную систему, которая в свою очередь является подсистемой в рамках действующего промышленного предприятия.

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим применение системного анализа к процессу производства горячекатаного листа с заданными свойствами [19–22]. На **рис. 1** представлена условная схема технологического процесса горячей прокатки стальной полосы.

К входным параметрам процесса относятся характеристики заготовки (сляба), химический состав стали, которые регламентируются в нормативной или технической документации. Требования заказчика к готовой продукции являются выходными параметрами данной технологической системы. При этом следует учитывать, что горячекатаная полоса может быть как полупродуктом в случае ее дальнейшей переработки холодной прокаткой, так и использоваться в виде конечной продукции, например, если ее свойства аналогичны свойствам холоднокатаного листа [23–25]. С этой точки зрения требования к свойствам производимой горячекатаной полосы

могут быть различными. К потокам энергии при горячей прокатке относятся механическая, электрическая и тепловая. Потоки информации составляют различные требования к заготовке, нормируемые документацией, действующей на предприятии, а на выходе из технологического процесса – соответствующие требования, предъявляемые к готовой продукции. Кроме того, к потокам информации следует отнести требования экологической и промышленной безопасности, охраны труда и сведения, получаемые при различных видах контроля.

При производстве горячекатаной полосы принятие решений поставленных задач осуществляется путем выбора в условиях неопределенности, возникающей из-за наличия множества факторов, не поддающихся строгой количественной оценке [26]. С этой точки зрения использование системного анализа является эффективным инструментом, позволяющим установить взаимосвязь различных элементов данной технологической системы. На основании установленных таким образом значимых факторов формулируются конкретные актуальные задачи листопрокатного производства, которые формализуются в виде обобщенной модели, отображающей все взаимосвязи между потребительскими функциями изделия и контролируемые параметры процесса.

С другой стороны, использование системного анализа позволяет определить «узкие» места технологического процесса. Поскольку для эффективного функционирования технологической системы с целью обеспечения производства продукции с заданными свойствами необходимым условием является обеспечение сквозного прохождения потоков вещества, энергии и информации через все структурные составляющие (технологические операции), то построение структурной схемы процесса позволяет наглядно представить все существующие взаимосвязи в системе. Кроме того, такого вида моделирование может быть использовано и для определения надежности системы.

Понятие «надежность» применяется как для технологических, так и для технических систем. Согласно ГОСТ 27.004-85 технологической системой считается совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций [27]. К предметам производства относятся материал, заготовка, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответ-

ствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний. Технологические системы существуют на различных иерархических уровнях производства (рис. 2).

В зависимости от уровня иерархии технологические системы отличаются степенью сложности. Тем не менее любая технологическая система неразрывно связана с техническими системами, которые обеспечивают ее функционирование. Например, функционирование технологической системы «процесс производства стальной горячекатаной полосы» обусловлено существованием и работоспособностью таких технических систем, как нагревательная печь, прокатный стан, прокатная клеть и др.

Под технической системой по ГОСТ Р 57194.1-2016 понимается целостная совокупность конечного числа взаимосвязанных материальных объектов, имеющая последовательно взаимодействующие сенсорную и исполнительную функциональные части, модель их предопределенного поведения в пространстве равновесных устойчивых состояний и способная при нахождении хотя бы в одном из них (целевом состоянии) самостоятельно в штатных условиях выполнять предусмотренные ее конструкцией потребительские функции [28]. Таким образом, основным назначением технической системы является выполнение ею потребительских функций. С этой точки зрения эффективность технической системы определяется показателями надежности, экономичности и безопасности (рис. 3).

В настоящее время существует множество стандартов, регламентирующих различные аспекты надежности. Терминологические особенности в описании надежности различными стандартами, вызванные одновременным использованием терминов международных и российских стандартов, существенно усложняют задачу решения анализа надежности и выбора методов ее оценки. С 1 сентября 2017 г. введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 27.003-2016 «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности». Согласно данному стандарту все объекты (машины, оборудование, изделия) характеризуются определенным уровнем надежности [29]. Показатели надежности, выбираемые для нормативных документов и конструкторской документации, должны быть связаны с видом и назначением изделий, предусмотренным применением и важностью требуемых функций.

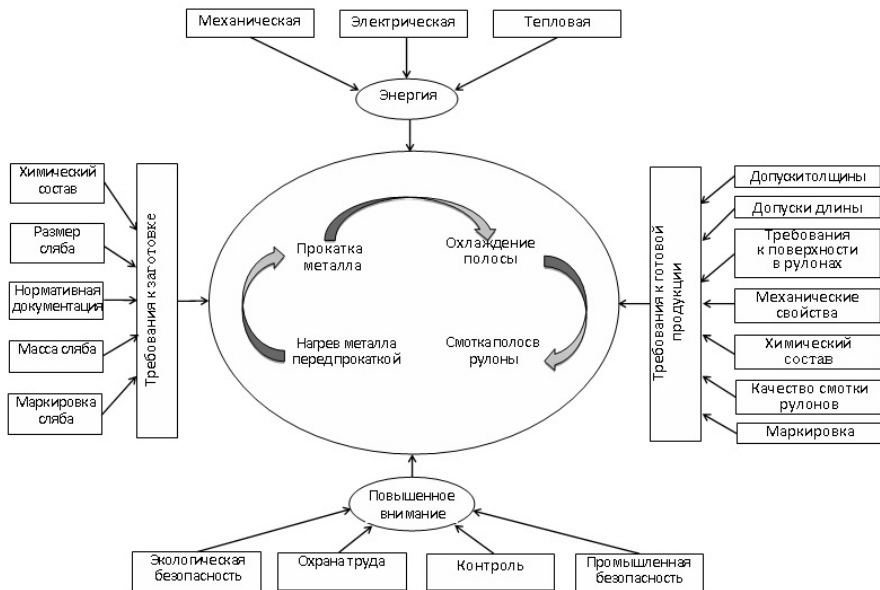


Рис. 1. Структурная схема технологического процесса производства стальной горячекатаной полосы

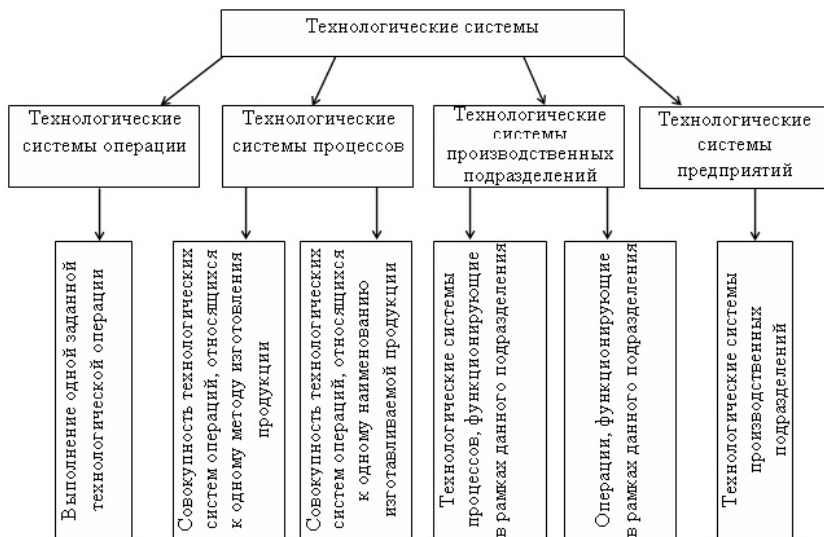


Рис. 2. Виды технологических систем

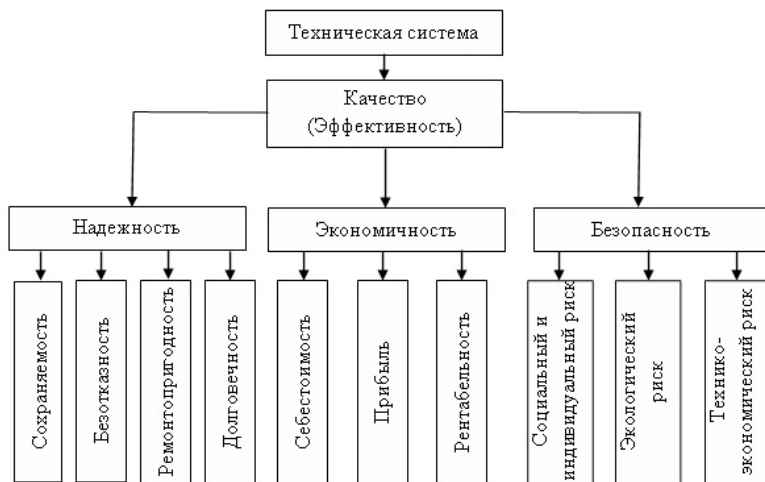


Рис. 3. Показатели эффективности технической системы

Процедура оценки надежности регламентирована в ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности» и заключается в следующей последовательности действий [30]:

- определение исследуемой системы, режимов и условий ее работы, функциональных связей, включая интерфейсы или процессы;
- определение всех требований или целей надежности и работоспособности системы, а также характеристик и особенностей системы, режимов ее эксплуатации, условий окружающей среды и требований обслуживания; определение отказа системы, критериев отказов и условий, основанных на функциональной спецификации системы, ожидаемой продолжительности и условий эксплуатации;
- анализ системы на основе методов надежности и соответствующих данных эффективности;
- проведение качественного анализа надежности для определения режимов неисправностей системы и компонентов, механизмов отказов, причин и последствий отказов, путей отказа/неисправности, ремонтнопригодности, возможностей предотвращения неисправностей, разработки стратегий технического обслуживания и ремонта;
- количественный анализ уровня надежности системы;

- анализ выполнения целей требований надежности для рассматриваемой системы.

Сложность и разнообразие технологических систем, а также важность определения уровня их надежности обусловили существование различных методов, позволяющих качественно и/или количественно получить оценку надежности. При этом в зависимости от вида анализируемой информации методы оценки надежности можно условно разделить на следующие группы:

- методы, основанные на оценке количества отказов, неисправностей, а также причин их возникновения. К данной группе относятся следующие методы: «прогнозирование интенсивности отказов», «анализ дерева неисправностей (FTA)», «анализ режимов и последствий (критичности) отказов FME(C)A», «таблица истинности (анализ функциональной структуры)», «анализ прочности и напряжений». Эти методы применяются на начальных стадиях проектирования для оценки интенсивности отказов оборудования и системы в целом, для определения надежности или эквивалентной интенсивности отказов компонентов, либо как способы идентификации причины существующего отказа и как методы анализа режима отказа, прогнозирования и моделирования надежности.



Рис. 4. Методы оценки надежности технологических систем

- методы, основанные на анализе системы в целом, существующих событий и связей между ними. К данной группе можно отнести следующие методы: «анализ дерева событий (ETA)», «анализ структурной схемы надежности (RBD)», «Марковский анализ (Markov Analysis)», «анализ сети Петри», «исследование опасности и работоспособности HAZOP», «анализ человеческого фактора (HRA)», «статистические методы надежности (Monte-Carlo)». Применение этих методов целесообразно при необходимости исследовать все возможные пути формирования событий, последовательность их появления и наиболее вероятные результаты или последствия, когда должны быть учтены сложные логические взаимодействия между элементами системы, для рассмотрения системы в целом и взаимодействия отдельных работников при эксплуатации системы и в других аналогичных случаях.

Следует отметить, что существуют и другие подходы для оценки надежности технологических систем (рис. 4).

Так, оценку надежности технологических систем можно осуществлять по регламентированным в стандартах параметрам качества и производительности, а также на основе критериального подхода. При этом следует отметить, что сущность методов оценки надежности по параметрам качества и параметрам производительности различается: для соответствующих расчетов используются либо показатели качества производимого изделия в результате функционирова-

ния технологической системы, либо показатели ее производительности. Использование критериального подхода требует разработки системы критериев, по которым будет оцениваться надежность технологической системы. Несмотря на определенную субъективность данного метода, он широко применяется благодаря возможности разработки системы критериев в зависимости от сложности и функционального назначения исследуемой технологической системы, а также от вида решаемых задач [31–36].

### Заключение

При выборе показателей надежности технологических и технических систем следует руководствоваться тем, что эти показатели должны достаточно полно описывать свойства системы, учитывать их характерные особенности, быть удобными для аналитического расчета и экспериментальной проверки по результатам испытаний, должны иметь разумный физический смысл и допускать возможность перехода к показателям качества и эффективности. Вид технологической или технической системы является определяющим признаком для выбора критериев отказов и предельных состояний, показателей надежности и методов их оценки. Развитие техники и технологий, сложность взаимосвязей технических объектов вызывают необходимость разработки научно обоснованных принципов и единых подходов для выбора метода оценки надежности технологических и технических систем.

Список литературы

1. Аверьянов А.М. Системное познание мира: монография. М.: Политиздат, 1985. 263 с.
2. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем // Системные исследования. Ежегодник. М.: Наука, 1973. С. 20–37.
3. Хубка В. Теория технических систем: монография: пер. с нем. М.: Мир, 1987. 208 с.
4. Винограй Э.Г. Основы общей теории систем: монография. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 1993. 339 с.
5. Мигулевский В.Д. Основы теории систем. В 2 ч. М.: МИРЭА, 1997. 190 с.
6. Проблемы методологии системного исследования: монография. М.: Мысль, 1970. 435 с.
7. Месарович М., Такахага И. Общая теория систем: математические основы: монография. М.: Мир, 1978. 311 с.
8. Арбид М., Мейнс Э.Дж. Основания теории систем: разложимые системы // Математические методы в теории систем. М.: Мир, 1979. С. 7–49.
9. Бондаренко Н.И. Методология системного подхода к решению проблем: история, теория, практика: монография. СПб: СПбУЭФ, 1997. 388 с.
10. Голубков Е.П. Использование системного анализа в отраслевом планировании: монография. М.: Экономика, 1977. 160 с.
11. Исследования по общей теории систем: монография / под ред. В.Н. Садовского, Э.Б. Юдина. М.: Прогресс, 1969. 325 с.
12. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин и (или) оборудования». Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 823. М., 2012.
13. Базовский И. Надежность: монография. М.: Мир, 1965. 374 с.
14. Надежность в машиностроении: справ. / под ред. Шапкина В.В., Карзова Г.П. СПб.: Политтехника, 1992. 719 с.
15. Надежность технических систем: справ. / под ред. Ушакова И.А. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
16. Справочник по надежности / Епишин Ю.Г., Смиренин Б.А., Левин Б.Р.; под ред. Левина Б.Р. М.: Мир, 1969. Т. 1. 339 с.
17. Горохов П.К., Бердичевский Б.Е. Справочник по надежности / под ред. Бердичевского Б.Е. М.: Мир, 1970. Т. 2. 304 с.
18. Соловейчик Ф.С., Бердичевский Б.Е. Справочник по надежности. М.: Мир, 1970. Т. 3. 376 с.
19. Ширяева Е.Н. Проектирование процесса горячей прокатки на основе системного анализа // XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов горно-геологического, нефтегазового, энергетического, машиностроительного и металлургического профиля: тез. докл. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. С. 284.
20. Технология горячей прокатки стального листа как объект проектирования на основе системного анализа / Полякова М.А., Ширяева Е.Н., Налимова М.В. // Актуальные проблемы современной науки, техники, образования: тез. докл. 77-й междунар. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. С. 218–219.
21. Ширяева Е.Н., Полякова М.А. Построение структурной схемы технической системы «Стан горячей прокатки» // Актуальные проблемы современной науки, техники, образования: тез. докл. 77-й междунар. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. С. 163–164.
22. Ширяева Е.Н., Полякова М.А. Особенности взаимодействия потоков в технической системе «Стан горячей прокатки» // Magnitogorsk Rolling Practice 2019: proceedings of the 4th Youth Scientific and Practical Conference / ed. by A.G. Korchunov. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University Publishing House, 2019. P. 115–117.
23. Оценка качества тонких горячекатаных полос для определения возможности замещения холоднокатаной листовой стали общего назначения / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Завалицин А.Н., Корнилов В.Л., Буданов А.П., Цепкин А.С., Пантелеева Н.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4(20). С. 69–73.
24. Разработка технологии производства горячекатаного тонколистового проката для замещения холоднокатаного проката аналогичного назначения / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Завалицин А.Н., Корнилов В.Л., Буданов А.П., Цепкин А.С., Пантелеева Н.А. // Производство проката. 2009. № 4. С. 30–34.
25. Производство горячекатаного листового проката для замещения холоднокатаного аналогичного назначения: монография / Шубин И.Г., Исмагилов Р.А., Завалицин А.Н., Цепкин А.С., Корнилов В.Л., Буданов А.П. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 217 с.
26. Румянцев М.И. Некоторые результаты развития и применения методологии улучшения листопрокатных технологических систем // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. №1. С. 45–55.
27. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 1985. 9 с.
28. ГОСТ Р 57194.1-2016. Трансфер технологий. Общие положения. М.: Стандартиформ, 2016. 12 с.
29. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартиформ, 2017. 18 с.
30. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Стандартиформ, 2002. 29 с.
31. Конструкции и расчет надежности деталей и узлов прокатных станов: монография / Анцупов В.П., Анцупов А.В., Анцупов А.В., Русанов В.А. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 156 с.
32. Методология прогнозирования надежности элементов машин по различным критериям / Анцупов В.П., Анцупов А.В., Анцупов А.В. // Надежность. 2013. №3(46). С. 5–14.
33. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / Анцупов В.П., Дворников Л.Т., Громаковский Д.Г., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 141–146.
34. Основы диагностики и надежности технических объектов: монография / Анцупов В.П., Корчунов А.Г., Анцупов



- А.В., Анцупов А.В. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 114 с.
35. Designing assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / Antsupov A.V., Antsupov A.V. (jun), Antsupov V.P. // *Vestnik of Novos Magnitogorsk State Technical University*. 2013. № 5 (45). P. 62–66.
36. Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и износостойкости материалов: монография / Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Анцупов В.П. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2015. 308 с.

Поступила 27.06.19

Принята в печать 22.07.19

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-60-69>

## DEPENDABILITY ASSESSMENT OF MANUFACTURING AND ENGINEERING SYSTEMS ON THE BASIS OF APPLICABLE STANDARDS

Elena N. Shiriaeva – Master Degree Student

Novos Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: e.shyriaeva@mail.ru  
ORCID 0000-0002-4505-3873

Marina A. Polyakova – Dr.Sci. (Eng.), Associate Professor,

Department of Materials Processing Technologies, Novos Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.polyakova@magtu.ru  
ORCID 0000-0002-1597-8867

**Abstract.** Problem Statement (Relevance): This paper gives some general information about system analysis as a technique that is widely used for characterization of manufacturing and engineering systems. The paper uses a case study of the hot strip rolling process to describe a system encompassing the input and output parameters of the matter, as well as the existing energy and information flows. The principle problems are outlined that can help in the development of adequate mathematical models for a formalized process dependability assessment in steel products manufacturing. Objectives: To analyze the existing dependability assessment techniques applicable to manufacturing and engineering systems in order to choose the appropriate technique for solving a particular manufacturing problem. Methods Applied: The authors have analysed the applicable standards which regulate dependability parameters in engineering. The existing dependability assessment techniques have been examined. Originality: The originality of this study lies in the fact that the process of hot rolling was analysed with the help of system analysis, which enabled to demonstrate the interconnections between the flows of matter, energy, and information. A classification of manufacturing and engineering systems is presented which can serve as the basis for choosing the adequate dependability assessment technique for a particular system. The paper lists the application areas for the available dependability assessment systems applicable to manufacturing and engineering systems. Findings: The paper describes the results of the system analysis that was carried out for the hot rolling process, which helped establish a relationship between the requirements to the rolling stock and the requirements to the finished steel product. It is a pre-requisite for choosing appropriate rolling regimes that would enable to obtain the desired properties in the final product. The paper describes the existing dependability assessment techniques applicable to manufacturing and engineering

systems. Practical Relevance: The proposed approach enables to make a scientifically justified choice of the dependability assessment technique taking into consideration the characteristics of a particular process or engineering system.

**Keywords:** Dependability, system analysis, hot strip rolling, manufacturing system, engineering system, assessment technique, standard.

## References

1. Averianov A.M. *Sistemnoe poznanie mira: monografiya* [Systematic understanding of the world]. Moscow: Politizdat, 1985. 263 p. (In Russ.)
2. Bertalanffy L. von. The history and status of general systems theory. *Sistemnye issledovaniya. Ezhegodnik* [Systematic studies. Annual report]. Moscow: Nauka, 1973, pp. 20–37. (In Russ.)
3. V. Hubka. *Teoriya tekhnicheskikh sistem: monografiya* [The theory of engineering systems: Monograph]. Translated from German. Moscow: Mir, 1987, 208 p. (In Russ.)
4. Vinogray E.G. *Osnovy obshchey teorii sistem: monografiya* [Basics of the general systems theory: Monograph]. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry, 1993, 339 p. (In Russ.)
5. Mogilevskiy V.D. *Osnovy teorii sistem* [Basics of the systems theory]. In 2 parts. Moscow: MIREA, 1997, 190 p. (In Russ.)
6. *Problemy metodologii sistemnogo issledovaniya: monografiya* [The problems related to the methodology of systematic studies]. Moscow: Mysl, 1970, 435 p. (In Russ.)
7. Mesarovich M., Takakhara I. *Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy: monografiya* [General systems theory: Mathematical basics: Monograph]. Moscow: Mir, 1978, 311 p. (In Russ.)
8. Arbib M., Manes E.G. Fundamentals of the systems theory: Decomposable systems. *Matematicheskie metody v teorii sistem* [Mathematical methods in the systems theory]. Moscow: Mir, 1979, pp. 7–49. (In Russ.)
9. Bondarenko N.I. *Metodologiya sistemnogo podkhoda k*



- resheniyu problem: istoriya, teoriya, praktika: monografiya* [The methodology of systematic approach to problem resolution: History, theory, practice. Monograph]. Saint Petersburg: SPbUEF, 1997, 388 p. (In Russ.)
10. Golubkov E.P. *Ispolzovanie sistemnogo analiza v ot-raslelvom planirovanii: monografiya* [Application of system analysis in production planning: Monograph]. Moscow: Ekonomika, 1977, 160 p. (In Russ.)
  11. *Issledovaniya po obshchey teorii sistem: monografiya* [Studies on the general systems theory: Monograph]. Ed. by V.N. Sadovskiy, E.B. Yudin. Moscow: Progress, 1969, 325 p. (In Russ.)
  12. Regulations of the Customs Union "On safety of machinery and (or) equipment". Approved by the Customs Union's Decree No. 823 dated 18<sup>th</sup> October 2011.
  13. Bazovskiy I. *Nadezhnost: monografiya* [Reliability: Monograph]. Moscow: Mir, 1965, 374 p. (In Russ.)
  14. *Nadezhnost v mashinostroenii: spravochnik* [Reliability in mechanical engineering: Reference book]. Ed. by V.V. Shashkin, G.P. Karzov. Saint Petersburg: Politekhnika, 1992, 719 p. (In Russ.)
  15. *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem: spravochnik* [Reliability of engineering systems: Reference book]. Ed. by I.A. Ushakov. Moscow: Radio i svyaz, 1985, 608 p. (In Russ.)
  16. Epishin Yu.G., Smirenin B.A., Levin B.R. *Spravochnik po nadezhnosti* [Reference book on reliability]. Ed. by B.R. Levin. Moscow: Mir, 1969, vol. 1, 339 p. (In Russ.)
  17. Gorokhov P.K., Berdichevskiy B.E. *Spravochnik po nadezhnosti* [Reference book on reliability]. Ed. by B.E. Berdichevskiy. Moscow: Mir, 1970, vol. 2, 304 p. (In Russ.)
  18. Soloveychik F.S., Berdichevskiy B.E. *Spravochnik po nadezhnosti* [Reference book on reliability]. Moscow: Mir, 1970, vol. 3, 376 p. (In Russ.)
  19. Shiryayeva E.N. System analysis based design of the hot rolling process. XVII Vserossiyskaya konferentsiya-konkurs studentov i aspirantov gorno-geologicheskogo, neftegazovogo, energeticheskogo, mashinostroitelnogo i metallurgicheskogo profilya: tez. dokl. [17<sup>th</sup> National Conference and Competition among Undergraduate and Postgraduate Students of Mining and Geology, Oil and Gas, Energy, Mechanical Engineering and Metallurgy: Abstracts of reports]. Saint Petersburg Mining University, 2019, p. 284. (In Russ.)
  20. Polyakova M.A., Shiryayeva E.N., Nalimova M.V. The process of hot rolling of steel sheets as a design object in the system analysis based design. *Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki, obrazovaniya: tez. dokl. 77-y mezhdunarod. nauch.-tekhnich. konf.* [Important problems of today's science, technology and education: Abstracts of reports presented at the 77<sup>th</sup> International Science and Technology Conference]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2019, pp. 218–219. (In Russ.)
  21. Shiryayeva E.N., Polyakova M.A. Building a block diagram of the system "Hot Rolling Mill". *Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki, obrazovaniya: tez. dokl. 77-y mezhdunarod. nauch.-tekhnich. konf.* [Important problems of today's science, technology and education: Abstracts of reports presented at the 77<sup>th</sup> International Science and Technology Conference]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2019, pp. 163–164. (In Russ.)
  22. Shiryayeva E.N., Polyakova M.A. Interaction of flows in the system "Hot Rolling Mill". Magnitogorsk Rolling Practice 2019: Proceedings of the 4th Youth Scientific and Practical Conference. Ed. by A.G. Korchunov. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2019, pp. 115–117. (In Russ.)
  23. Rummyantsev M.I., Shubin I.G., Zavalishchin A.N., Kornilov V.L., Budanov A.P., Tsepkin A.S., Panteleeva N.A. Assessing the quality of thin hot-rolled strips to understand if they can be used to substitute the general-purpose cold-rolled steel sheets. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2007, no. 4(20), pp. 69–73. (In Russ.)
  24. Rummyantsev M.I., Shubin I.G., Zavalishchin A.N., Kornilov V.L., Budanov A.P., Tsepkin A.S., Panteleeva N.A. Developing a process for producing hot-rolled sheets as a substitution for cold-rolled steel designed for the same application. *Proizvodstvo prokata* [Production of rolled steel], 2009, no. 4, pp. 30–34. (In Russ.)
  25. Shubin I.G., Ismagilov R.A., Zavalishchin A.N., Tsepkin A.S., Kornilov V.L., Budanov A.P. *Proizvodstvo goryachekatanogo listovogo prokata dlya zameshcheniya khodnokatanogo analogichnogo naznacheniya: monografiya* [Production of hot-rolled sheets as a substitution for cold-rolled steel designed for the same application: Monograph]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 217 p. (In Russ.)
  26. Rummyantsev M.I. Development and application of methods for improving steel sheet rolling systems: Some outcomes. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2017, vol. 15, no. 1, pp. 45–55. (In Russ.)
  27. GOST 27.004-85. Industrial product dependability. Technological systems. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 1985, 9 p.
  28. GOST R 57194.1-2016. Transfer of technology. General provisions. Moscow: Standartinform, 2016, 12 p.
  29. GOST 27.003-2016. Industrial product dependability. Contents and general rules for specifying dependability requirements. Moscow: Standartinform, 2017, 18 p.
  30. GOST R 51901-2002. Dependability management. Manufacturing system risk analysis. Moscow: Standartinform, 2002, 29 p.
  31. Antsupov V.P., Antsupov A.V., Antsupov A.V., Rusanov V.A. *Konstruktii i raschet nadezhnosti detaley i uzlov prokatnykh stanov: monografiya* [Components and systems of rolling mills: Design and dependability calculation. Monograph]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, 156 p. (In Russ.)
  32. Antsupov V.P., Antsupov A.V., Antsupov A.V. How to predict the dependability of machine components using various criteria. *Nadezhnost* [Dependability], 2013, no. 3(46), pp. 5–14. (In Russ.)
  33. Antsupov V.P., Dvornikov L.T., Gromakovskiy D.G., Antsupov A.V. (junior), Antsupov A.V. Basics of the physical theory of machine part dependability based on kinetical strength of materials. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, no. 1, pp. 141–146. (In Russ.)
  34. Antsupov V.P., Korchunov A.G., Antsupov A.V., Antsupov A.V. *Osnovy diagnostiki i nadezhnosti tekhnicheskikh ob'ektov: monografiya* [Basics of machine diagnosis and dependability: Monograph]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 114 p. (In Russ.)
  35. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (jun), Antsupov V.P. De-

signed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2013, no. 5 (45), pp. 62–66.

36. Antsupov A.V. (junior), Antsupov A.V., Antsupov V.P. *Teoriya i praktika obespecheniya nadezhnosti detaley mashin po kriteriyam kineticheskoy prochnosti i iznosostoykosti*

*materialov: monografiya* [The theory and practice of ensuring machine part dependability based on kinetic strength and wear resistance of materials: Monograph]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2015, 308 p. (In Russ.)

Received 27/06/19

Accepted 22/07/19

◆  
◆  
**Образец для цитирования**

Ширяева Е.Н., Полякова М.А. Особенности оценки надежности технологических и технических систем в действующей нормативной документации // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2019. Т.17. №3. С. 60–69. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-60-69>

**For citation**

Shiriaeva E.N., Polyakova M.A. Dependability Assessment of Manufacturing and Engineering Systems on the Basis of Applicable Standards. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2019, vol. 17, no. 3, pp. 60–69. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-60-69>  
◆