

Для цитирования

Маркевич А.В., Полякова М.А. Аналитический подход к количественной оценке достоверности результатов неразрушающего контроля / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 221–227.

УДК 620.179.16

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Маркевич А.В., канд. техн. наук, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск

Полякова М.А., д-р техн. наук, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

Устойчивое развитие предприятия оценивается с точки зрения обеспечения качества продукции, оптимизации ресурсов и внедрения инноваций. Неразрушающий контроль является одним из эффективных методов получения измерительной информации об имеющихся внутренних дефектах. Разработан аналитический подход, позволяющий количественно оценить степень достоверности результатов неразрушающего контроля. Использование графической интерпретации статистической информации о существующих несплошностях металлопроката позволяет установить границы правильной отбраковки, недобраковки и перебраковки.

Ключевые слова: устойчивое развитие, неразрушающий контроль, достоверность, измерительная информация, металлопродукция, несплошность.

AN ANALYTICAL APPROACH TO QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF NON-DESTRUCTIVE TESTING RESULTS

Markevich A.V., PhD of Technical Sciences, Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk

Polyakova M.A., Doctor of Technical Sciences, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Sustainable development of the enterprise is assessed from the point of view of quality management, optimization of resources, and innovations. Non-destructive testing methods is one of the effective methods to obtain measurement information about existing internal defects. An analytical approach has been developed that makes it possible to assess quantitatively the degree of reliability of non-destructive testing results. Application of the graphical interpretation of statistical information about existing discontinuities in rolled steel products allows to establish the boundaries of correct rejection, under-rejection, and over-rejection.

Keywords: sustainable development, non-destructive testing method, reliability, measurement information, metal product, discontinuity.

Введение

Современные рыночные отношения представляют собой сложный комплекс взаимодействий производителей и потребителей. Своевременная реакция производителя на постоянно изменяющиеся условия рынка является залогом его успешного и устойчивого развития. Одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность предприятия, является возможность производителя поддерживать баланс собственных и потребительских

интересов за счет использования конкурентных преимуществ – значительного накопленного опыта производства, внедрения новых технологических или технических решений, а также путем поддержания высокого качества продукции. Таким образом, качество в совокупности с экономическими показателями выступает основным критерием оценки перспектив устойчивого развития любого промышленного предприятия.

В условиях массового производства с большим объемом размерно-марочного сортамента продукции, единым технологическим циклом и непрерывной загрузкой основного технологического оборудования возникает необходимость оценки и прогнозирования эффективности деятельности всей технологической системы по возможному достигаемому уровню качества готовой продукции с минимальным воздействием на окружающую среду. Очевидно, что обеспечение требуемого уровня качества продукции, конкурентоспособности и повышение результативности производства должны рассматриваться с точки зрения совокупности экономических, социальных и экологических аспектов. При этом должны быть минимизированы затраты, связанные как с «повседневным» функционированием технологического процесса, так и с освоением инновационной металлопродукции.

Любой технологический процесс производства продукции различного назначения обязательно включает контроль ее качества, важнейшими целями которого являются определение брака и проверка самого процесса производства продукции. Наибольшее распространение на металлургических предприятиях получил технический контроль, представляющий собой определенную проверку полного соответствия готовой конечной металлопродукции либо регламентированным в нормативной и технической документации, либо установленным на предприятии требованиям и нормам. При этом проводят не только контроль готовых металлоизделий, но и сырья, вспомогательных материалов, сборных конструкций и др.

Для определения качества продукции применяются разные методы контроля. В большинстве случаев на производстве используется сразу несколько методов, что важно для получения объективной оценки. На этапе измерения особую важность приобретает «достоверность контроля», т.е. достоверность оценки качества по результатам контроля. Само понятие достоверность контроля в различных источниках формулируется по-разному, под этим понятием могут пониматься надежность, точность, объективность, эффективность контроля [1, 2].

Технологический процесс производства металлопродукции является сложным многооперационным многостадийным процессом, в основе которого лежат процессы различной физической и химической природы [3, 4].

Особо важное место в системе технического контроля занимают методы неразрушающего контроля. Неразрушающий контроль – контроль, при котором производится оценка характеризующих продукцию свойств, признаков и параметров, протекающий без их изменения и при сохранении ресурса изделия. Данный вид контроля реализуется как на основе оценки взаимодействия излучений и полей различной физической природы с материалами объекта контроля, так и на изучении закономерностей деградационных процессов. После осуществления данного вида контроля не нарушается пригодность продукции к использованию [5, 6].

Однако использование неразрушающих методов контроля требует не только использования специального измерительного оборудования. Точность и достоверность измерительной информации при использовании неразрушающих методов контроля зависит от множества объективных и субъективных факторов. В настоящее время отсутствуют алгоритмы и модели, позволяющие количественно оценить степень достоверности результатов неразрушающего контроля. С этой точки зрения целью настоящего исследования является разработка алгоритма, позволяющего повысить достоверность информации, получаемой при проведении контроля неразрушающими методами на основании научно обоснованных решений с использованием математической обработки результатов измерений.

Методы исследования

В настоящее время использование неразрушающих методов контроля регламентируется следующими стандартами Российской Федерации: ГОСТ ISO 17636-1-2017 Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 1, ГОСТ Р ИСО 9934-1-2011 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 1. Основные требования, ГОСТ Р ИСО 10893-9-2024 Трубы стальные бесшовные и сварные. Часть 9. Ультразвуковой метод автоматизированного контроля расслоений в рулонах/листах для производства сварных труб, ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые, ГОСТ Р 56510-2015 Метрологическое обеспечение в области неразрушающего контроля, ГОСТ Р 56512-2015 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы, ГОСТ Р 56542-2019 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов, ГОСТ Р 55612-2013 Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения, ГОСТ Р 58399 2019 Контроль неразрушающий. Методы оптические. Общие требования, ГОСТ Р 70652-2023 Контроль неразрушающий. Методы оптические. Системы технического зрения. Общие требования, ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод (с Изменением № 1), ГОСТ 22727-88. Прокат листовой. Методы ультразвукового контроля, ГОСТ 24507-80. Контроль неразрушающий. Поковки из черных и цветных металлов. Методы ультразвуковой дефектоскопии, ГОСТ 30415-96. Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом.

В каждом из этих нормативных документов регламентирован порядок проведения неразрушающего контроля для конкретных видов металлоизделий. При этом от результата выбора объекта контроля непосредственным образом зависит, какой метод неразрушающего контроля будет использован для проведения анализа.

Немаловажным фактором является определение времени, в течение которого следует проводить контроль. Например, если результаты неразрушающего контроля проводятся для отсортровки готовой продукции, тогда анализируемый период будет короче по сравнению с тем, когда получаемая в результате проведения данного вида контроля информация будет необходима для определения причин возникновения имеющихся в объекте контроля несоответствий.

При проведении неразрушающего контроля следует учитывать, что имеющийся дефект может быть выявлен, пропущен или перебракован по ложным сигналам. При использовании недостоверных результатов как потребитель продукции, так и производитель несут определенные риски. Так, для потребителя риски могут выражаться, например, в разрушении конструкции при использовании дефектной металлопродукции, а для производителя – в необходимости применения дополнительных мер либо по переработке дефектной продукции, либо по организации перебраковки объекта контроля [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Необходимость разработки аналитического подхода, позволяющего количественно оценить достоверность информации, получаемой в результате проведения неразрушающего контроля, обусловлена следующими причинами. Прежде всего, это наличие широкой номенклатуры изделий, например металлоизделий, для которых применяются различные методы неразрушающего контроля. При этом следует учитывать, что контролируемые металлоизделия отличаются по габаритным размерам и форме. Немаловажным фактором также является то, что при наличии в металлоизделиях внутренних дефектов, которые не выявлены другими методами контроля, может привести к разрушению конструкции в целом либо к возникновению аварийной ситуации.

С этой точки зрения первым этапом разработки подхода для количественной оценки достоверности результатов неразрушающего контроля является выбор единицы продукции [8]. Под этим понимается отдельный элемент металлоизделия, который подвергается неразрушающему контролю. Это может быть либо полуфабрикат (сляб или горячекатаный

раскат), либо готовая металлопродукция (горячекатаный лист или холоднокатаный рулон). Каждая единица продукции имеет одинаковую прямоугольную форму в поперечном сечении, но с различными линейными размерами.

Основной задачей неразрушающего контроля является обнаружение в объектах контроля дефектов (несплошности, структурные неоднородности, отклонения размеров и физико-механических свойств материала от значений, нормированных в нормативной и технической документации), которые могут располагаться в единице продукции в различных зонах, в соответствии с чем они делятся на поверхностные (выходящие наружу), подповерхностные (расположенные на глубине около 1–2 мм под поверхностью объекта) и внутренние (отстоящие от поверхности на 1–2 мм и более). Данный аспект также оказывает влияние на вероятность обнаружения того или иного дефекта.

Вполне очевидно, что аналитические исследования должны основываться на наличии статистически значимой информации о количестве несплошностей, которая может быть представлена в виде гистограммы (рис. 1) [10]. При этом исходя из практики проведения неразрушающего контроля металлопроката статистически значимыми считаются несплошности, которые занимают условную площадь от 5 до 30 мм².

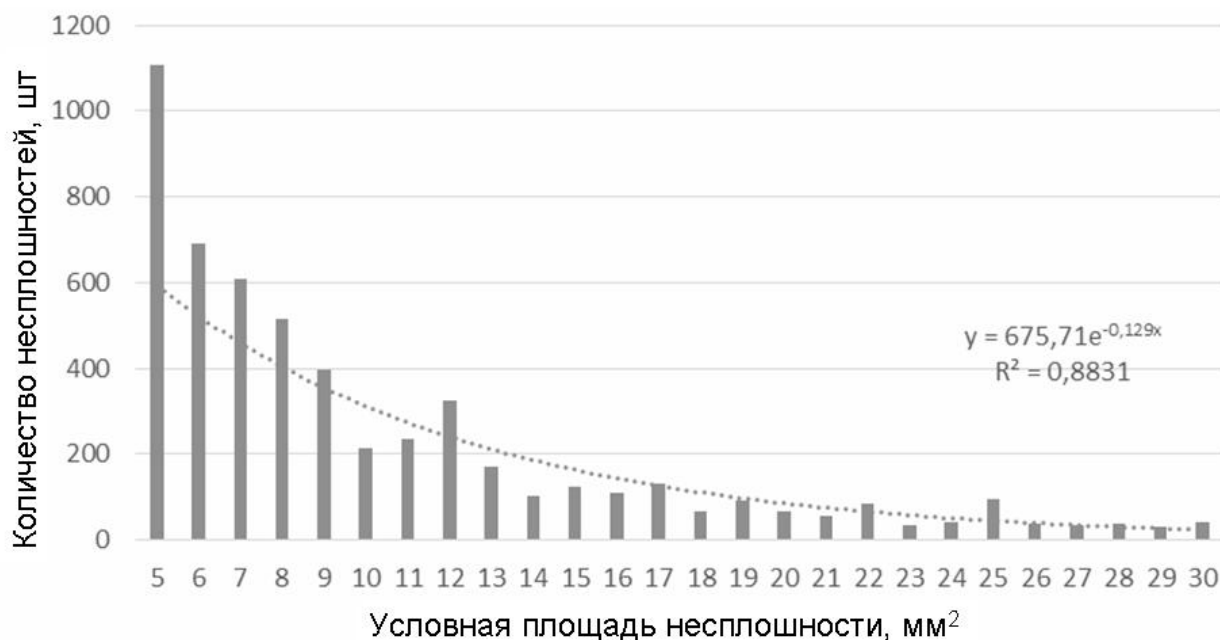


Рис. 1. Статистически значимый диапазон количества несплошностей стального металлопроката

Модель экспоненциального распределения основана на предположении, что вероятность возникновения пропорциональна размеру дефекта. Это означает, что чем меньше размер дефекта, тем больше вероятность его появления. Тогда линию тренда можно описать следующим уравнением

$$y = 675,71 \cdot e^{-0,129x},$$

где x – условная площадь, занимаемая отдельной несплошностью, мм².

Для оценки точности измерительной информации, полученной неразрушающим контролем, необходимо ее сравнить с информацией, полученной разрушающим методом (металлографический метод анализа) (рис. 2).

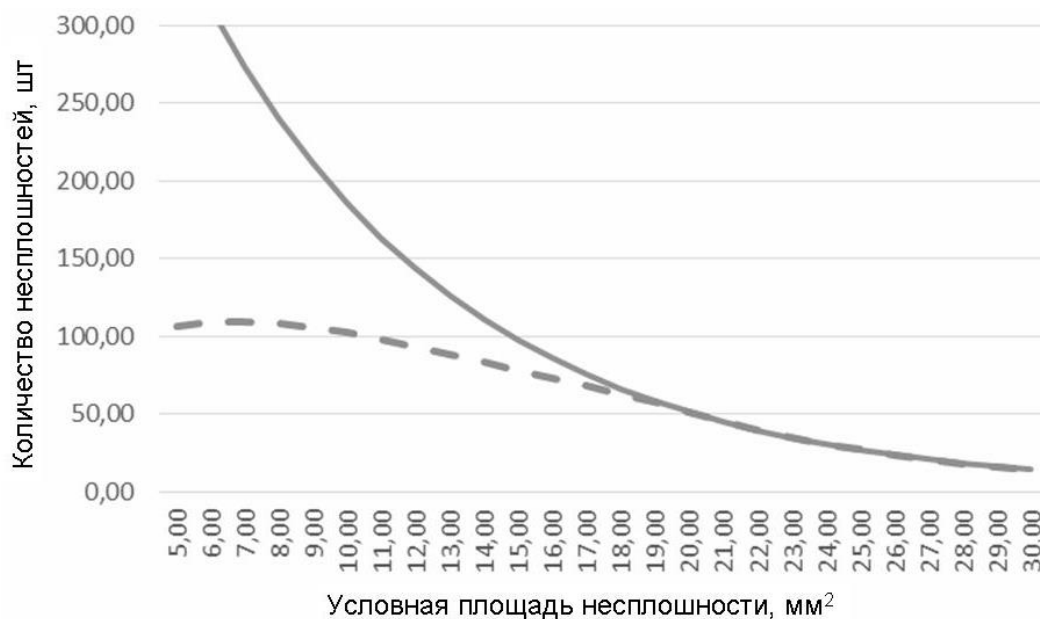


Рис. 2. Количество несплошностей стального металлопроката, выявляемых ультразвуковым методом контроля (сплошная линия) и металлографическим методом (пунктирная линия)

Рассмотрим применение разработанного аналитического подхода для определения годности стального металлопроката. Предположим, что потребитель примет металлопродукцию к использованию, если размер условной площади несплошности будет около 14 мм² (рис. 3). То есть если в стальном металлопрокате будут обнаружены дефекты большего размера, то такая металлопродукция будет считаться для данного потребителя негодной.

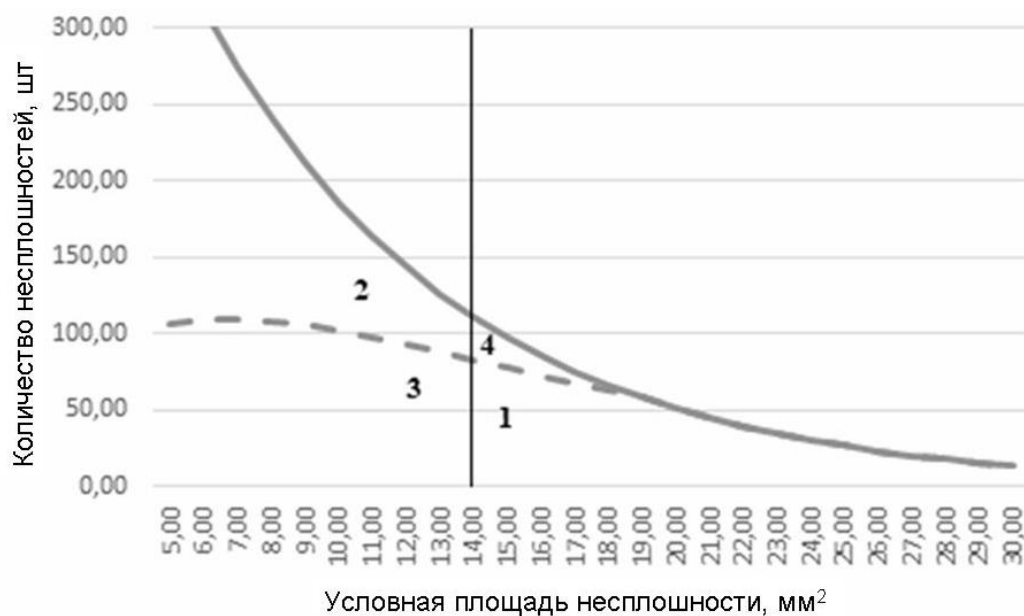


Рис. 3. Области определения годности стального металлопроката (на примере несплошности условной площадью 14 мм²):

- 1 – соответствует правильной отбраковке; 2 – правильная оценка годности;
3 – область ошибок от перебраковки; 4 – область недобраковки

Если провести линию, соответствующую данному нормированному между потребителем и производителем значению, то на графике получим четыре области. По

размеру каждой из этих областей можно судить о годности металлопродукции, а также количественно оценить результаты неразрушающего контроля.

Таким образом, разработанный подход позволяет получить объективную информацию о вероятности возникновения ошибок при неразрушающем контроле металлопродукции. Регламентирование допустимого условного размера несплошностей позволяет снизить вероятность возникновения ошибок типа «перебраковка» и «недобраковка», что, в свою очередь, приведет к снижению производственных издержек на использование специальных мер по повышению достоверности контроля.

Выводы

На достоверность измерительной информации, получаемой неразрушающими методами контроля, влияют различные объективные и субъективные факторы. Для обеспечения точности получаемых данных необходимо использовать аналитические подходы, позволяющие количественно оценить и проанализировать статистическую информацию о результатах контроля. С другой стороны, следует учитывать, что размеры дефектов, определяемые неразрушающими методами, могут отличаться от действительности. Разработанная последовательность действий, направленная на получение количественной оценки достоверности результатов контроля, основана на допущении, что вероятность возникновения дефекта обратно пропорциональна его размеру, т.е. чем меньше размер дефекта, тем больше вероятность его появления. С практической точки зрения разработанный аналитический подход позволяет объективно анализировать имеющуюся производственную информацию о выявляемых дефектах, что является основой для разработки технических и технологических мероприятий по устранению причин их возникновения.

Список литературы

1. Модели обеспечения достоверности и доступности информации в информационно-телекоммуникационных системах / М.Ю. Монахов, Ю.М. Монахов, Д.А. Полянский, И.И. Семенова; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – 208 с.
2. Петровская О. В. Принцип достоверности в информационном праве: дис....канд. юр. наук. – М., 2001. – С. 17–41.
3. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1. – С. 63–69.
4. Полякова М.А., Голубчик Э.М. Особенности управления качеством металлопродукции в многообъектных технологических системах // Качество. Инновации. Образование. – 2023. – № 4 (186). – С. 3–11.
5. Неразрушающий контроль: справочник. В 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2004.
6. Дефекты стальных слитков и проката: справочное издание / В.В. Правосудович, В.П. Сокуренок, В.Н. Данченко и др. М.: Интернет Инжиниринг, 2006. 384 с.: ил.
7. Маркевич А.В. Оценка рисков производителя и потребителя при выявлении недостоверных результатов контроля // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докл. 83-й междунар. научно-техн. конф. (Магнитогорск, 21–25 апр. 2025 г.). – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2025. – Т. 1. – С. 109.
8. Маркевич А.В., Полякова М.А. Применение методов неразрушающего контроля для выявления дефектов горячекатаного металлопроката // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – Вып. 3. – С. 285–291.
9. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024625686. База данных «DSH&CR» / А.В. Маркевич, В.А. Щенникова, А.С. Сотников, М.А. Полякова (RU) : правообладатель ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – № 2024625406 ; заявл. 21.11.2024 ; опубл. 03.12.2024.
10. Маркевич А.В., Полякова М.А., Конищев А.В. О необходимости количественной оценки достоверности определения внутренних дефектов металлопроката // Контроль. Диагностика. – 2025. – Т. 28, № 2. – С. 30 – 37.

References

1. M.Yu. Monakhov, Yu.M. Monakhov, D.A. Polyanskii, I.I. Semenova. Models for ensuring the reliability and availability of information in informational and telecommunication systems. Vladimir. Gos. Univ. named after A.G. and N.G. Stoletov. Vladimir, 2015. 208 p.
2. Petrovskaya O.V. The principle of reliability in information law. PhD thesis (Jur.Sci.). Moscow, 2001, pp. 17–41.

3. Golubchik E.M. Adaptive quality management of metal product. Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, no. 1, pp. 63–69.
4. Polyakova M.A., Golubchik E.M. Peculiarities of metal product quality management in multiobject technological systems. Quality. Innovations. Education, 2023, no. 4(186), pp. 3–11.
5. Non-destructive testing; handbook. In 7 vols. Ed. V.V. Kluev. Moscow: Mashinostroeniye, 2004.
6. V.V. Pravosudovich, V.P. Sokurenko, V.N. Danchenko et al. Defects of steel casts and rolled product : handbook edition. Moscow: IntermetEngineering, 2006, 384 p.
7. Markevich A.V. Risk assessment for manufacturer and customer when identifying unreliable control results. Actual problems of present science, techniques, and education: Proc. 83th Sci.-Tecn. Conf. Magnitogorsk, 2025, Vol. 1, P. 109.
8. Markevich A.V., Polyakova M.A. Application of non-destructive testing methods to detect the defects of hot-rolled metal products. Izvestiya Tula State University. Technical Sciences, 2024, Vol. 3, pp. 285–291.
9. Database Registration Certificate RU 2024625686. Database «DSH&CR». A.V. Markevich, V.A. Shchennikova, A.S. Sotnikov, M.A. Polyakova. Copyright Holder Nosov Magnitogorsk State Technical University. № 2024625406, declared 21.11.2024, published 03.12.2024.
10. Markevich A.V., Polyakova M.A., Konishchev A.V. About the necessity to assess quantitatively the reliability of determining the internal defects in rolled metal products. Control. Diagnostics, 2025, Vol. 28, no. 2, pp. 30 – 37.