ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 54124— 2010

БЕЗОПАСНОСТЬ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Оценка риска

ISO 14121-1:2007
Safety of machinery — Risk assessment — Part 1: Principles
(NEQ)

ISO/TR 14121-2:2007
Safety of machinery — Risk assessment — Part 2: Practical guidance and examples of methods
(NEQ)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2013

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Научно-производственная фирма «Центральное конструкторское бюро арматуростроения» (ЗАО «НПФ «ЦКБА») и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ФГУП «ВНИИНМАШ») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международных стандартов, указанных в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 039 «Энергосбережение, энергетическая эффективность, энергоменеджмент»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 декабря 2010 г. № 818-ст

4 В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения международного стандарта и документа:

ISO 14121-1:2007 «Safety of machinery — Risk assessment — Part 1: Principles»;

ISO/TR 14121-2:2007 «Safety of machinery — Risk assessment — Part 2: Practical guidance and examples of methods».

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2013

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
4 Общие положения . . . 3
5 Подготовка к оценке риска или вероятности наступления опасного события . . . 9
5.1 Общие сведения . . . 9
5.2 Коллективный подход к оценке . . . 9
6 Определение пределов использования машины и (или) оборудования . . . 10
6.1 Общие сведения . . . 10
6.2 Пределы эксплуатации . . . 11
6.3 Пространственные пределы . . . 11
6.4 Временные и ресурсные пределы . . . 11
6.5 Прочие пределы . . . 12
6.6 Функции машины и (или) оборудования (машинозависимые факторы) . . . 12
6.7 Использование машины и (или) оборудования (задачезависимые факторы) . . . 12
7 Идентификация опасностей . . . 12
7.1 Общие сведения . . . 12
7.2 Методы идентификации опасностей . . . 13
7.3 Сохранение информации . . . 14
8 Расчет степени риска . . . 15
8.1 Общие сведения . . . 15
8.2 Элементы риска . . . 15
8.3 Аспекты, принимаемые во внимание при расчете степени риска . . . 18
8.4 Способы расчета степени риска . . . 20
9 Оценка риска . . . 22
9.1 Оценка степени риска . . . 22
9.2 Достижение адекватного снижения риска . . . 23
9.3 Сравнение рисков . . . 24
9.4 Устранение источников опасности конструктивными методами . . . 24
9.5 Снижение риска конструктивными методами . . . 25
9.6 Защитные устройства . . . 25
9.7 Дополнительные защитные меры . . . 25
9.8 Информация о порядке работы с машиной и (или) оборудованием . . . 26
9.9 Обучение . . . 2
9.10 Средства индивидуальной защиты . . . 26
9.11 Стандартные методы работы . . . 27
10 Итерационный процесс оценки риска . . . 27
11 Документация по оценке риска (вероятности опасного события). Обоснование безопасности . . . 27
12 Оценка обеспечения допустимой вероятности наступления опасного события на этапе изготовления . . . 28
12.1 Общие положения . . . 28
12.2 Анализ видов, последствий и критичности отказов изделия . . . 29

12.3 Анализ конструкции изделия 29
12.4 Анализ технологического процесса изготовления 29
12.5 Анализ информации о браке 30
12.6 Расчет вероятности безотказной работы изделия по отношению к критическим отказам, обеспечиваемой технологическим процессом 30
12.7 Сравнительный анализ требуемых показателей безотказности изделия и показателей безотказности, обеспечиваемых технологическим процессом изготовления 32
Приложение А (справочное) Примеры методов для некоторых этапов процесса оценки риска 34
Приложение Б (справочное) Примеры опасностей, опасных ситуаций и опасных событий. 71
Приложение В (справочное) Примеры применения процесса оценки и снижения риска 79
Библиография 95

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

БЕЗОПАСНОСТЬ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Оценка риска

Safety of machinery and equipment. Risk assessment

Дата введения — 2012—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на машины и оборудование, в том числе бытового назначения, для которых выявлены и идентифицированы виды опасности, требования к устранению или уменьшению которых установлены Техническим регламентом о безопасности машин и оборудования.

Стандарт устанавливает общие принципы, применяемые при решении задач оценки риска и его снижения (в соответствии с ГОСТ Р 12100-1 и ГОСТ Р 12100-2):

- определение ограничений, накладываемых на машину и (или) оборудование при их использовании по назначению;
- идентификация опасностей и связанных с ними опасных событий;
- расчет риска для каждой идентифицированной опасности и опасного события;
- оценка степени риска и принятие решения о необходимости его снижения;
- принятие защитных мер по устранению опасности или уменьшению степени риска, связанного с этой опасностью.

Указанные принципы оценки риска обобщают знания и опыт, полученные в ходе проектирования и эксплуатации машин и (или) оборудования, а также во время связанных с ними инцидентов и несчастных случаев, и позволяют оценить риск событий, которые могут иметь место во время жизненного цикла той или иной единицы машин и (или) оборудования.

В настоящем стандарте приведены рекомендации в отношении сведений, которые необходимы для выполнения оценки риска. Описаны методы определения источников опасности, а также оценки связанного с ними риска.

В настоящем стандарте приведены также рекомендации по принятию решений, относящихся к безопасности машин и (или) оборудования, а также по ведению типовой документации, необходимой для выполнения оценки риска.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 15.201—2000 Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство

ГОСТ Р ИСО 12100-1—2007 Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 1. Основные термины, методология

ГОСТ Р ИСО 12100-2—2007 Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 2. Технические принципы

ГОСТ Р ИСО 13849-1—2003 Безопасность оборудования. Элементы систем управления, связанные с безопасностью. Часть 1. Общие принципы конструирования

ГОСТ Р 51897—2002 Менеджмент риска. Термины и определения

ГОСТ Р 51901.12—2007 Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов

Издание официальное

ГОСТ 2.102—68 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов

ГОСТ 27.301—95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения

ГОСТ 27.310—95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 51897, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **анализ риска:** Изучение технических требований к машине в части ограничений, идентификация опасности и расчет степени риска.

3.2 **вред:** Причинение ущерба здоровью человека, окружающей среде, имуществу, экономические потери.

3.3 **допустимый риск:** Значение риска от применения машины и (или) оборудования, исходя из технических и экономических возможностей производителя, соответствующего уровню безопасности, который должен обеспечиваться на всех стадиях жизненного цикла продукции.

3.4 **задача:** Определенные работы, выполняемые одним или несколькими лицами посредством или в непосредственной близости от машины и (или) оборудования в течение их жизненного цикла.

3.5 **защитные меры:** Меры, предпринимаемые для адекватного снижения степени риска.

Примечание — Защитные меры могут быть предусмотрены:

- конструктором (разработка безопасной конструкции машины, средств защиты и дополнительных защитных мер, информации для пользователя);
- проектантом опасного производственного объекта (технологической системы), применяющим машину (совокупность машин) и (или) оборудование.
- пользователем (осуществление безопасной эксплуатации, технический контроль, система допуска к работе; применение дополнительных защитных мер; использование средств индивидуальной защиты; обучение персонала).

3.6 **использование машины и (или) оборудования по назначению:** Использование машины и (или) оборудования в соответствии с информацией, содержащейся в документах для пользователя.

3.7 **критическое воздействие:** Воздействие со стороны машины и/или оборудования, которое может иметь место при нормальном их функционировании, связанное с внутренне присущими им опасными свойствами, тяжесть последствий которого признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению его вероятности и/или возможного ущерба, связанного с его возникновением.

3.8 **критический отказ:** Отказ машины и/или оборудования, возможными последствиями которого является причинение вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений, тяжесть последствий которого признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению его вероятности и (или) возможного ущерба, связанного с его возникновением.

3.9 **машина:** Ряд взаимосвязанных частей или узлов, из которых хотя бы одна часть или один узел двигается с помощью соответствующих приводов, цепей управления, источников энергии, объединенных вместе для конкретного применения (обработки, переработки, перемещения или упаковки материала).

Примечание — Термин «машина» также распространяется на совокупность машин, которые размещаются и управляются таким образом, чтобы функционировать как единое целое.

3.10 **оборудование:** Применяемое самостоятельно или устанавливаемое на машину техническое устройство, необходимое для выполнения ее основных и (или) дополнительных функций, а также для объединения нескольких машин в единый комплекс.

3.11 **обоснование безопасности:** Документ, содержащий анализ риска, а также сведения из конструкторской, эксплуатационной, технологической документации о минимально необходимых мерах по обеспечению безопасности, сопровождающий машины и (или) оборудование на всех стадиях жизненного цикла и дополняемый сведениями о результатах оценки риска на стадии эксплуатации после проведения ремонта.

3.12 **общая оценка риска**: Общий процесс анализа риска и оценивания риска.

3.13 **опасность:** Источник потенциального причинения вреда.

Примечание — Термин «опасность» может быть уточнен в соответствии с причиной его происхождения (например, механическая опасность, электрическая опасность) или характера потенциального повреждения (например, опасность поражения электрическим током, опасность пореза, опасность воздействия токсических веществ, опасность возгорания).

3.14 **опасная зона, зона риска:** Пространство внутри машины или вокруг нее, в котором человек может подвергаться риску травмирования или причинения другого вреда здоровью.

3.15 **опасная ситуация:** Ситуация, возникновение которой может вызвать воздействие на объект вреда опасных и вредных производственных факторов.

Примечание — Такое воздействие может приводить к повреждению сразу же или спустя некоторое время.

3.16 **опасное событие:** Событие, которое может иметь место при критическом отказе машины (оборудования) и (или) при их критическом воздействии, тяжесть последствий которого признана недопустимой и требует специальных мер по снижению их частоты (уровня воздействия) и (или) возможного ущерба, связанного с их возникновением.

3.17 **разработчик (проектировщик)**: Юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, разрабатывающие проектную документацию на машину и (или) оборудование;

Примечание — Термины «разработчик», «проектировщик» при применении в отношении проектируемого объекта (например, опасный производственный объект: завод, цех, технологическая линия и др.) могут быть уточнены.

3.18 **объект вреда, ущерба:** Объект, которому наносится вред в результате воздействия факторов опасности.

Примечание — В качестве объекта могут рассматриваться люди, имущество, окружающая среда, животные и растения.

3.19 **остаточный риск:** Риск, остающийся после принятия защитных мер.

3.20 **оценка риска:** Процесс сравнения оцененного риска с данными критериями риска с целью определения значимости риска.

Примечание — Оценка риска может быть использована для содействия решениям по принятию или обработке риска.

3.21 **поставщик:** Юридическое лицо (например, разработчик, производитель, подрядчик, установщик, интегратор), осуществляющее поставку оборудования или предоставляющее услуги, связанные с производственными системами, отдельными их частями или машинами.

3.22 **прогнозируемое неправильное применение машины:** Использование машины способом, не предусмотренным конструктором, но который может быть результатом легко предсказуемого поведения человека.

3.23 **расчет степени риска:** Определение тяжести возможного вреда и вероятности того, что такой вред будет нанесен.

3.24 **риск:** Вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

4 Общие положения

4.1 Машина и (или) оборудование являются потенциальными источниками опасности как при безотказном выполнении ими функций по назначению, так и в случае критического отказа.

4.2 Опасность нанесения вреда жизни и здоровью людей, окружающей среде, жизни и здоровью животных, имуществу физических и юридических лиц, исходящая от машины и (или) оборудования при безотказном выполнении функций по назначению, включает:

- нанесение вреда в результате воздействия на них со стороны машины или оборудования (термическая, химическая, радиационная, электрическая, механическая опасности, шум, вибрация);
- нанесение вреда при срабатывании со сбросом рабочей среды непосредственно в атмосферу (термическая, химическая, радиационная, экологическая, механическая опасности);
- нанесение вреда при нарушении техники безопасности в процессе эксплуатации машин и (или) оборудования;
- нанесение вреда другими опасными факторами, если они присущи машине и (или) оборудованию.

4.3 Опасность нанесения вреда жизни и здоровью людей, окружающей среде, жизни и здоровью животных, имуществу физических и юридических лиц, исходящая от машины и (или) оборудования при критическом отказе может заключаться в нанесении вреда:

- при разрушении;
- при потере герметичности;
- из-за невыполнения машиной и (или) оборудованием функций по назначению, приведшее к разрушению системы, в составе которой функционирует машина и (или) оборудование, и др.

4.4 **На этапе проектирования** машины и (или) оборудования, предназначенных для применения физическими лицами (бытовая техника), и (или) когда тяжесть последствий наступления опасного события **известна**, разработчик в целях оценки риска и обеспечения допустимого риска:

а) идентифицирует возможные опасности: излучения, взрывоопасность, механическую опасность, пожароопасность, термическую опасность, электрическую опасность, ядерную, радиационную и другие опасности, связанные с машиной и (или) оборудованием;

б) для идентифицированных опасностей оценивает риск расчетным, экспериментальным, экспертным путем или по данным об эксплуатации аналогичных машин и (или) оборудования;

в) определяет и устанавливает допустимый риск для машины и (или) оборудования.

4.5 **На этапе проектирования** машины и (или) оборудования, предназначенных для применения юридическими и физическими лицами в составе технологической системы (процесса), когда тяжесть последствий опасного события зависит от комплекса организационных и технических мероприятий, устанавливаемых проектантом системы или заказчиком, и разработчику машины и (или) оборудования **неизвестна**, разработчик в целях последующей оценки риска и обеспечения допустимого риска проектантом системы или заказчиком:

а) идентифицирует возможные опасности: излучения, взрывоопасность, механическую опасность, пожароопасность, термическую опасность, электрическую опасность, ядерную, радиационную и другие опасности, связанные с машиной и (или) оборудованием;

б) для идентифицированных опасностей оценивает **вероятность наступления опасного события, связанного с возможными критическими отказами машины и (или) оборудования и (или) с критическими воздействиями,** расчетным, экспериментальным, экспертным путем или по данным об эксплуатации аналогичных машин и (или) оборудования.

4.6 Оценку риска или вероятности наступления опасного события выполняют **на этапе проектирования** для всех этапов жизненного цикла машины и (или) оборудования.

Для целей настоящего стандарта в качестве основных этапов жизненного цикла машин и оборудования рассматриваются проектирование, изготовление, эксплуатация (применение по назначению), утилизация.

В случае если оцененный риск или вероятность наступления опасного события выше допустимого, для их уменьшения изменяют проект машины и (или) оборудования, при этом исключается вмешательство персонала во все рабочие режимы машины и (или) оборудования (если вмешательство не предусмотрено руководством по эксплуатации).

После оценки может потребоваться повторение данного процесса для того, чтобы в максимально возможной степени устранить источники опасности и произвести адекватное снижение риска путем применения мер защиты.

4.7 При невозможности достижения технических характеристик, определяющих допустимый риск или вероятность наступления опасного события машины и (или) оборудования, путем изменения конструкции, а также при экономической нецелесообразности в руководстве по эксплуатации указывается информация, ограничивающая условия применения машины и (или) оборудования или предупреждающая о необходимости принятия дополнительных мер по обеспечению безопасности.

В этом случае окончательную оценку риска осуществляет **проектант системы**, который оценивает тяжесть последствий опасных событий с учетом реализуемых им организационных и технических мероприятий, направленных на снижение тяжести последствий и обеспечение требуемых значений допустимого риска.

4.8 Уровень безопасности машины и (или) оборудования, соответствующий установленному риску (по 4.4), исключение или минимизация вероятности наступления опасного события, связанного с критическим отказом и (или) с критическим воздействием (по 4.5) машины и (или) оборудования, проектировщиком обеспечивается за счет:

а) полноты научно-исследовательской и опытно-конструкторской отработки;

б) выбора материалов и веществ, применяемых в отдельных видах машин и (или) оборудования, в зависимости от параметров и условий эксплуатации;

в) проведения комплекса расчетов конструкции, основанных на верифицированных в установленном порядке методиках;

г) соблюдения правил постановки продукции на производство, предусмотренных ГОСТ Р 15.201;

д) проведения анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) и возможных опасностей, с принятием необходимых конструкторских решений, направленных на максимально возможное снижение вероятности их возникновения.

4.9 Результаты работ по обеспечению безопасности машин и (или) оборудования оформляются проектировщиком в **обосновании безопасности.**

Оригинал Обоснования безопасности хранится у проектировщика, а копии — у изготовителя машин и (или) оборудования и организации, эксплуатирующей машины и (или) оборудование.

4.10 Проектировщиком машины и (или) оборудования в сопроводительной документации (технических условиях (ТУ) и руководстве по эксплуатации) машины и (или) оборудования должны быть указаны обязательные требования и меры по обеспечению безопасности для этапов жизненного цикла, в том числе:

а) указания по изготовлению изделия, направленные на обеспечение оговоренных проектной (конструкторской) документацией показателей, характеризующих надежность и безопасность машины и (или) оборудования;

б) указания по монтажу или сборке, наладке или регулировке, техническому обслуживанию и ремонту машины и (или) оборудования с отражением идентифицированных опасностей;

в) указания по использованию машины и (или) оборудования и меры по обеспечению безопасности, которые необходимо соблюдать при эксплуатации машины и (или) оборудования, включая ввод в эксплуатацию, использование по прямому назначению, техническое обслуживание, все виды ремонта, периодическое диагностирование, испытания, перевозку, упаковку, консервацию и условия хранения;

г) назначенные показатели (назначенный срок службы и (или) назначенный ресурс, назначенный срок хранения) с указанием о необходимости изъятия из эксплуатации машины и (или) оборудования по истечении назначенных показателей и принятия решения об их проверке и установлении нового назначенного ресурса (срока хранения, срока службы), направлении их в ремонт или на утилизацию;

д) возможные отказы, с указанием критических отказов (если известны);

е) возможные ошибочные действия персонала, которые приводят к инциденту или аварии, и действия персонала в случае инцидента или аварии;

ж) критерии предельных состояний;

и) указания по видам опасностей при выводе из эксплуатации и утилизации;

к) меры для предотвращения недопустимого использования машин и (или) оборудования после прекращения эксплуатации.

4.11 В целях обеспечения допустимого риска или допустимой вероятности наступления опасного события **на этапе изготовления** (производства) машин и (или) оборудования изготовитель выполняет:

а) обеспечение соответствия изготовления машины и (или) оборудования требованиям проектной (конструкторской) документации;

б) весь комплекс мер по обеспечению допустимого риска или снижению вероятности наступления опасного события для машины и (или) оборудования, определенный проектной (конструкторской) документацией, контроль выполнения всех технологических операций, от которых зависят допустимый риск, критический отказ и (или) критическое воздействие;

в) испытания машины и (или) оборудования, предусмотренные проектной (конструкторской) документацией;

г) нанесение четкой нестираемой надписи или знаков на машину и (или) оборудование, предупреждающих о видах опасности при эксплуатации;

д) нанесение хорошо различимой четкой нестираемой идентификационной надписи на машину и (или) оборудование, содержащей:

1) наименование изготовителя и (или) его товарный знак;

2) наименование изделия и (или) обозначение серии либо типа, номер;

3) показатели назначения;

4) дату изготовления.

На **этапе изготовления** надежность и безопасность машин и (или) оборудования обеспечивают:

- технологическими операциями изготовления, применяемыми на предприятии-изготовителе;

- техническим контролем, в том числе системой входного контроля поступающих материалов, комплектующих изделий и в целом системой менеджмента качества, действующей на предприятии-изготовителе.

Характеристики (показатели) надежности и безопасности машин и (или) оборудования могут быть подтверждены:

- испытаниями на надежность, проводимыми в составе приемочных, квалификационных или периодических испытаний;

- данными эксплуатационной статистики;

- результатами анализа действующих на предприятии технологических процессов (технологических операций изготовления и операций технического контроля) и системы менеджмента качества, в части обеспечения ими требуемых показателей надежности и безопасности (далее — оценка технологического процесса).

Примечания

1 Для подтверждения испытаниями высоких значений показателей безотказности требуется большое количество изделий, которые необходимо подвергнуть ресурсным испытаниям на рабочих параметрах, и большие объемы ресурсных испытаний, что экономически и технически нецелесообразно

2 Для подтверждения данными эксплуатационной статистики высоких значений показателей безотказности требуется длительный промежуток времени с момента изготовления изделий, что не позволяет определить безотказность изделия непосредственно в момент выпуска.

Подтверждение надежности и безопасности машин и (или) оборудования путем оценки технологического процесса позволяет дополнить данные о надежности и безопасности изготовляемых машин и (или) оборудования, получаемые при испытаниях на надежность и по эксплуатационной статистике.

Оценка технологического процесса основывается на анализе конструкции изделия, технологии его изготовления и результатов эксплуатации изделий, ранее изготовленных предприятием с применением операций оцениваемого технологического процесса.

При анализе конструкции изделия выявляют узлы и детали, отказ которых в процессе эксплуатации может быть критическим, и устанавливают возможные несоответствия требованиям конструкторской документации, которые могут послужить причиной критического отказа этих узлов и деталей.

Оценка технологического процесса осуществляется изготовителем или по согласованию с ним представителями заказчика, экспертной организацией или разработчиком изделия, имеющими необходимую квалификацию, знающими конструкцию изделия, ТУ на изделие, технологический процесс его изготовления.

В основу оценки обеспечения технологическим процессом требований к безотказности должен быть положен анализ технологических операций, в процессе которых могут иметь место несоответствия (дефекты), приводящие к критическому отказу изделия, и контрольных операций, при выполнении которых эти несоответствия (дефекты) могут быть обнаружены.

В качестве основных причин появления несоответствий (дефектов) рассматривают сбои в работе оборудования и ошибки, допущенные персоналом при выполнении технологических и контрольных операций.

Работы по оценке возможности обеспечения технологическим процессом изготовления заданных требований к безотказности изделия должны проводиться по программе, которая должна предусматривать:

а) АВПКО, исходя из условий эксплуатации изделия, с выделением критических отказов, вероятность невозникновения которых (вероятность безотказной работы (ВБР) изделия) должна быть обеспечена технологическим процессом предприятия-изготовителя. АВПКО проводится в соответствии с ГОСТ 27.310 или ГОСТ Р 51901.12.

б) анализ конструкции изделия;

в) анализ технологического процесса с выделением технологических и контрольных операций, влияющих на возможное проявление несоответствий (дефектов) у изделия, являющихся причиной возникновения выделенных критических отказов;

г) анализ статистической информации о браке изготовителя в части несоответствий (дефектов), выявленном в процессе производства и по данным эксплуатационной статистики;

д) проведение расчета ВБР изделия, обеспечиваемой технологическим процессом изготовления;

е) проведение сравнительного анализа заданных в конструкторской документации требований к показателям безотказности изделия и расчетных показателей безотказности, обеспечиваемых технологическим процессом изготовления;

ж) выдача заключения по результатам работ с выводом о возможности обеспечения требований к безотказности изделий технологическим процессом изготовления и (или) разработкой при необходимости рекомендаций по внесению необходимых изменений в технологический процесс и конструкцию изделия в целях повышения его безотказности.

4.12 В целях обеспечения допустимых величин риска или вероятности наступления опасного события на этапах эксплуатации и утилизации машин и (или) оборудования необходимо выполнять требования, указанные в руководстве по эксплуатации, и при необходимости принимать дополнительные меры безопасности (средства индивидуальной защиты, ограждения и т. п.).

4.13 Оценка риска или вероятности наступления опасного события представляет собой систематизированные процедуры по определению опасностей, связанных с машиной и (или) оборудованием и принятию, при необходимости, мер по их снижению.

4.14 Оценку риска машины и (или) оборудования следует выполнять для возможных опасных событий (критических отказов и воздействий) и их возможных последствий. Оценка риска состоит в выполнении следующих работ (рисунок 1):

а) анализ риска:

1) определение пределов использования машины и (или) оборудования (раздел 6);

2) идентификация опасностей (раздел 7);

3) расчет степени риска (раздел 8);

б) оценка степени риска (раздел 9).

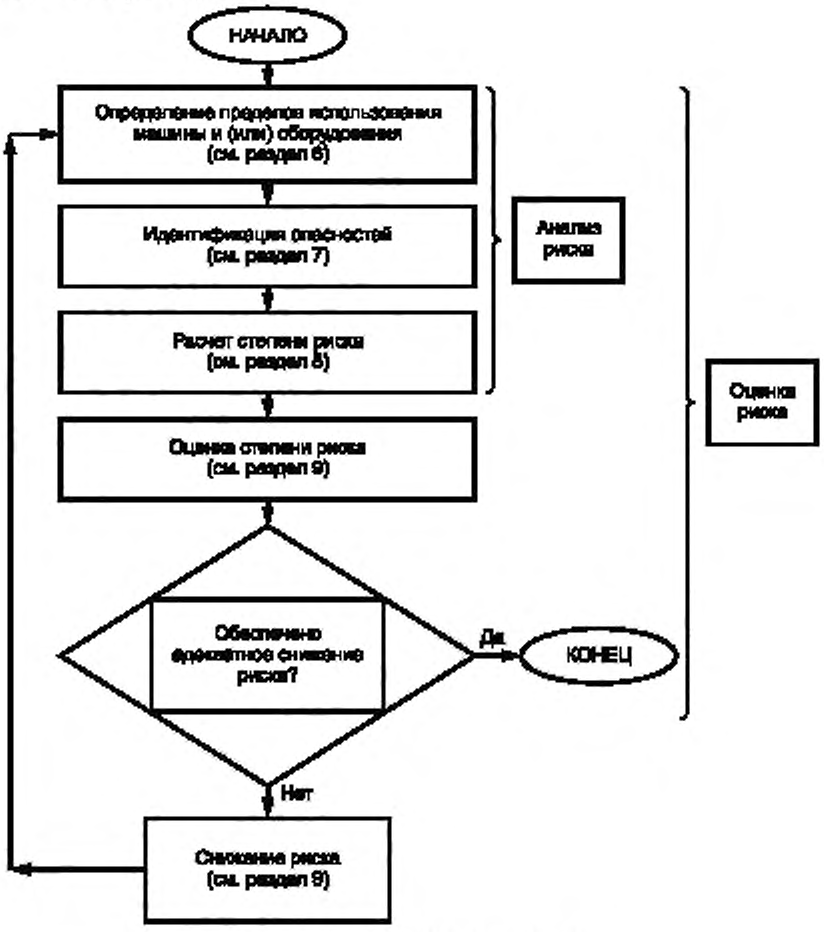


Рисунок 1 — Алгоритм оценки риска

4.15 Оценка вероятности наступления опасного события состоит в выполнении следующих работ (рисунок 2):

а) анализ вероятности наступления опасного события:

1) определение пределов использования машины и (или) оборудования (см. раздел 6);

2) идентификация опасностей (см. раздел 7);

3) расчет вероятности возникновения критических отказов;

б) оценка вероятности возникновения критических отказов и возможности критических воздействий.

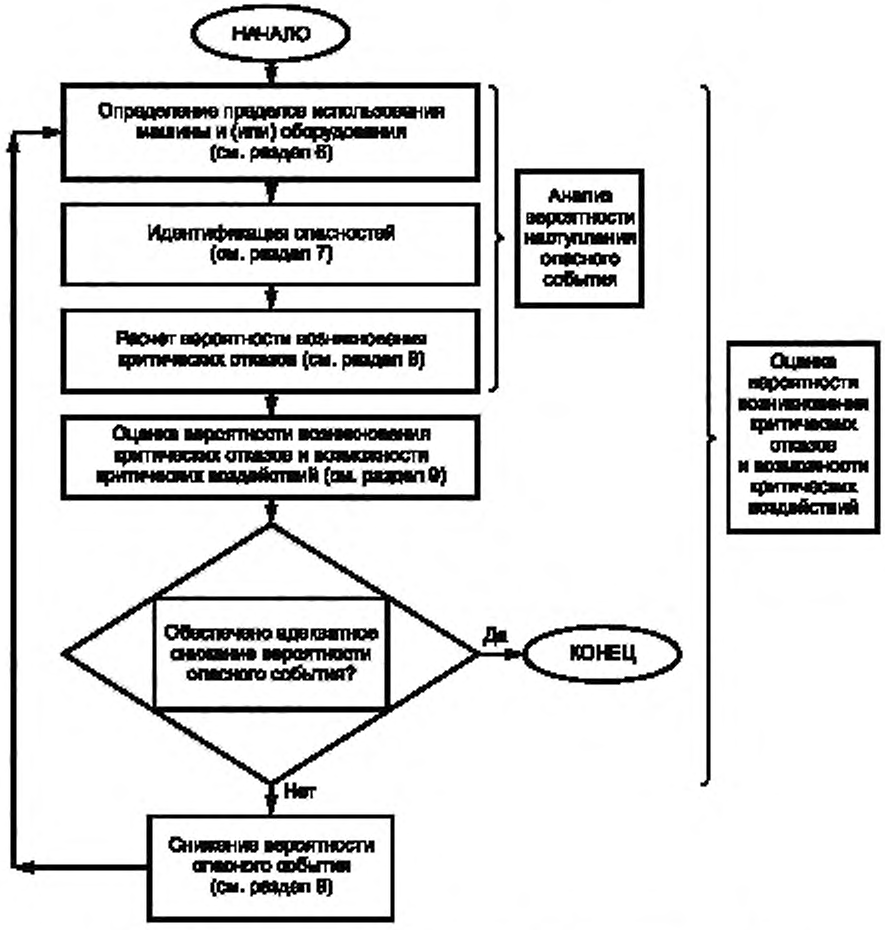


Рисунок 2 — Алгоритм оценки вероятности наступления опасного события

4.16 Анализ проводят для сбора информации, необходимой для оценки, которая, в свою очередь, является основанием для решения о необходимости принятия мер по снижению риска или вероятности наступления опасного события.

Это решение должно быть подтверждено качественным или, если это возможно, количественным расчетом, связанным с источниками опасности, характерными для данных машины и (или) оборудования.

Примечание — Количественный расчет степени риска или вероятности наступления опасного события можно применять при наличии соответствующих исходных данных. Однако в силу того что этих данных может быть недостаточно, возможности этого подхода, как правило, ограничены. Поэтому во многих случаях допускается только качественная оценка. Оценку следует производить с учетом возможности документирования последующих действий и достигнутых с их помощью результатов.

5 Подготовка к оценке риска или вероятности наступления опасного события

5.1 Общие сведения

В начале работы необходимо установить задачи, состав и сроки выполнения работ по оценке.

5.2 Коллективный подход к оценке

5.2.1 Общие сведения

Как правило, коллективный подход обеспечивает более тщательное и эффективное выполнение оценки. Численность группы исполнителей может быть различной в зависимости от следующих факторов:

а) выбранный метод оценки;

б) сложность;

в) система или технологический процесс, в котором используют машины и (или) оборудование.

Участники группы исполнителей должны обладать знаниями и опытом в различных областях. Однако при чрезмерно большой численности группы исполнителей могут возникать проблемы с концентрацией усилий и принятием совместных решений. Состав группы исполнителей в ходе работы может меняться в зависимости от квалификации, потребной для выполнения тех или иных задач. Для руководства работ по проекту назначается начальник группы исполнителей. Успешное выполнение оценки зависит от его или ее квалификации.

Однако коллективный подход к оценке не всегда оправдан и может быть излишним при работе с машинами и (или) оборудованием с очевидными источниками опасности и незначительным уровнем опасности.

Примечание — Достоверность результатов оценки может быть увеличена в ходе консультаций со специалистами, обладающими знаниями и опытом, как описано в 5.2.2, либо ревизии материалов оценки компетентными лицами.

5.2.2 Состав и распределение обязанностей в группе исполнителей

Группа исполнителей работает под руководством начальника, который несет полную ответственность за планирование и реализацию всех работ по оценке, разработку необходимой документации, а также за информирование соответствующих лиц о полученных результатах и выработанных рекомендациях.

Подбор участников группы исполнителей осуществляется в соответствии с необходимыми для оценки навыками и опытом.

В группу исполнителей должны входить в общем случае специалисты, которые:

а) способны ответить на технические вопросы по конструкции и функциям машины и (или) оборудования;

б) имеют реальный опыт эксплуатации, настройки, технического обслуживания и выполнения других работ с машинами и (или) оборудованием;

в) обладают знаниями о несчастных случаях, аварийных ситуациях с машинами и (или) оборудованием данного типа;

г) надлежащим образом понимают требования нормативных документов и стандартов, а также других специфических требований, относящихся к данным машине и (или) оборудованию;

д) понимают особенности человеческого фактора (см. 8.3.4).

5.2.3 Выбор методов и средств

Оценку в зависимости от сложности и потенциального вреда машин и (или) оборудования можно производить различными методами и с помощью различных средств (см. приложение А). Выбор того или иного метода или средства для оценки следует производить с учетом особенностей конкретных машины и (или) оборудования, т. е. характера связанных с ними опасностей, а также целей оценки. Кроме того, необходимо учитывать навыки и опыт участников группы исполнителей в применении того или иного метода, а также их предпочтения.

5.2.4 Информация для оценки

Информация для оценки должна включать следующее:

- сведения, характеризующие машину и (или) оборудование:

а) характеристики пользователей;

б) ожидаемые технические характеристики машины и (или) оборудования, в том числе:

1) описание различных фаз жизненного цикла машины и (или) оборудования,

2) конструкторские чертежи либо другие средства, дающие представление об устройстве машины и (или) оборудования,

3) необходимые источники энергии и способы их поставки;

в) документация по более ранним вариантам конструкции аналогичных машин и (или) оборудования, если имеется;

г) информация о порядке использования машины и (или) оборудования, если имеется;

д) результаты АВПКО;

- сведения о регламентах, стандартах и другой нормативной документации:

а) регламенты;

б) стандарты;

в) ТУ;

г) листы безопасности;

- сведения о предыдущем опыте применения:

а) сведения о любых авариях, инцидентах, несчастных случаях и неисправностях, имевших место при эксплуатации данных или аналогичных машин и (или) оборудования,

б) сведения о случаях нанесения вреда объектам, здоровью, последовавших, например, в результате воздействий различного типа (отказ, шум, вибрации, пыль, дым и т. п.), использования химикатов или материалов, перерабатываемых машиной;

- важные для анализа эргономические принципы (см. ГОСТ Р ИСО 12100-2, подраздел 4.8).

Перечисленные сведения необходимо обновлять по мере усовершенствования конструкции машины либо при необходимости внесения в нее изменений.

Целесообразно провести сравнение аналогичных опасных ситуаций, имевших место при эксплуатации машин и (или) оборудования различных типов, при условии наличия достаточной информации об источниках опасности и обстоятельствах несчастных случаев и других последствий, которые имели место в этих ситуациях.

Степень риска или вероятность наступления опасного события не могут быть признаны низкими на основании отсутствия сведений о последствиях отказов, несчастных случаях, их малого количества или низкой степени серьезности.

Для количественного анализа можно использовать информацию баз данных, результатов лабораторных анализов, а также технических спецификаций изготовителя, при условии, что имеются основания считать эти данные пригодными для анализа. Если таких оснований недостаточно, об этом должна быть сделана соответствующая запись в документации (см. раздел 11).

Информация, необходимая для оценки, может быть представлена в различных формах, в том числе в виде технических чертежей, диаграмм, фотографий, видеозаписей, инструкций (по техническому обслуживанию и выполнению стандартных операций), если таковые имеются. В большинстве случаев может быть полезен анализ информации об аналогичных машинах и (или) оборудовании или их прототипах.

6 Определение пределов использования машины и (или) оборудования

6.1 Общие сведения

Оценка начинается с установления пределов использования машины и (или) оборудования с учетом всех фаз их жизненного цикла. Под термином «установление пределов использования машины и (или) оборудования» понимают установление всех технических характеристик и рабочих параметров машины и (или) оборудования или серии машин и (или) оборудования в составе единого производственного процесса, а также параметров кадровых ресурсов, окружающей среды и продукции в соответствии с 6.2—6.5.

Основной задачей на данном этапе оценки является сбор сведений о функциональных возможностях машины и (или) оборудования, их использовании по назначению и прогнозируемом неправильном применении, а также об условиях окружающей среды, в которых, вероятнее всего, будут проходить их эксплуатация и техническое обслуживание.

Для сбора этих сведений производят анализ функций машины и (или) оборудования, а также задач, которые решаются в ходе эксплуатации машины и (или) оборудования.

6.2 Пределы эксплуатации

Под пределами эксплуатации понимают использование машины и оборудования по назначению и их прогнозируемое неправильное применение.

Основной задачей на данном этапе оценки является сбор сведений о функциональных возможностях машины, ее использовании по назначению и прогнозируемом неправильном применении, а также об условиях окружающей среды, в которых, вероятнее всего, будут проходить ее эксплуатация и техническое обслуживание.

Для сбора этих сведений производят анализ функций машины и (или) оборудования, а также задач, которые решаются в ходе их эксплуатации.

При этом учитывают следующие аспекты:

а) различные режимы работы машины и (или) оборудования и порядок действий, посредством которых пользователи вмешиваются в их работу в различных случаях (включая случаи возникновения неисправностей);

б) виды возможных отказов (критический, некритический) и их последствия;

в) эксплуатация машины и (или) оборудования (в промышленных, непромышленных или домашних условиях) лицами различного пола, возраста, правшами или левшами, лицами с ограниченными физическими возможностями (например, лицами, страдающими нарушениями зрения или слуха, лицами малого роста или небольшой физической силы). Если указанная информация недоступна, производитель должен принимать во внимание общие сведения о целевой группе пользователей машины и (или) оборудования (например, соответствующие антропометрические данные);

г) ожидаемые уровни подготовки, опыта или возможностей пользователей, в том числе:

1) операторов;

2) техников или персонала, ответственного за техническое обслуживание;

3) инструкторов и учащихся;

4) посторонних лиц;

д) возможность воздействия источников опасности, связанных с эксплуатацией машины и (или) оборудования, если оно может быть спрогнозировано, на других лиц и объекты, которые могут находиться в непосредственной близости от машины и (или) оборудования, в том числе:

1) операторов, например операторов других машин и (или) оборудования (т. е. лиц, которые с большой вероятностью будут осведомлены об указанных источниках опасности);

2) других работников, например руководящих сотрудников (т. е. лиц, которые могут быть недостаточно осведомлены об указанных источниках опасности, но с большой вероятностью осведомлены об обязательных для соблюдения правилах техники безопасности, безопасных маршрутах и т. п.);

3) посторонних лиц (т. е. лиц, которые с большой вероятностью не осведомлены ни об указанных источниках опасности, ни о правилах техники безопасности), включая при необходимости детей;

4) другие материальные объекты, окружающую среду.

6.3 Пространственные пределы

Необходимо принять во внимание следующие аспекты:

а) пределы перемещения;

б) требования по размещению лиц, других объектов, взаимодействующих с машиной и (или) оборудованием, например во время эксплуатации и технического обслуживания;

в) способы взаимодействия людей и других объектов с машиной и (или) оборудованием, например человеко-машинный интерфейс;

г) интерфейс между машиной, оборудованием и источником питания.

6.4 Временные и ресурсные пределы

Необходимо принять во внимание следующие аспекты:

а) ограничения по ресурсу и сроку службы машины и (или) оборудования и (или) некоторых из их составных частей (например, инструмента, изнашиваемых деталей и электромеханических компонентов) с учетом использования машины и (или) оборудования по назначению и их прогнозируемого неправильного применения;

б) рекомендуемые интервалы технического обслуживания;

в) установленные интервалы освидетельствования технического состояния и порядок разрешения применения (эксплуатации).

6.5 Прочие пределы

Примеры прочих пределов:

а) окружающая среда — рекомендуемые минимальная и максимальная температуры, стойкость к воздействию пыли и влаги, возможность эксплуатации вне помещений, в сухую или влажную погоду, на прямом солнечном свете и т. д.;

б) уборка территории — требуемый уровень чистоты;

в) свойства обрабатываемых материалов;

г) объекты окружающей среды — животные, растительность, водоемы и т. п.

6.6 Функции машины и (или) оборудования (машинозависимые факторы)

В зависимости от конструкции и выполняемых операций машина и (или) оборудование могут быть описаны как совокупность различных частей, механизмов и функций, в том числе:

- источника питания;
- управления;
- подачи материалов;
- обработки;
- движения/перемещения;
- подъема;
- рамы или шасси, обеспечивающих устойчивость/подвижность;
- навесного оборудования.

Если защитные меры предусмотрены конструкцией машины и (или) оборудования, их функции и порядок их взаимодействия с другими функциями должны быть описаны.

В ходе оценки необходимо поочередно рассмотреть все функциональные части и убедиться в том, что все режимы работы машины и (или) оборудования на всех этапах их жизненного цикла, включая взаимодействия «человек-машина», а также возможные отказы и их последствия надлежащим образом проанализированы.

6.7 Использование машины и (или) оборудования (задачезависимые факторы)

Рассмотрев весь персонал, взаимодействующий с машиной и (или) оборудованием, и другие объекты, находящиеся во взаимодействии с машиной и (или) оборудованием в данных условиях (например, завод, домашнее хозяйство), можно составить описание машины и (или) оборудования с точки зрения задач, выполняемых при использовании по назначению или прогнозируемом неправильном применении.

Примечание — Перечень типовых/обобщенных задач машины приведен в таблице Б.2 (приложение Б).

Разработчики, пользователи и предприятия, специализирующиеся на сборке и комплектации машины и (или) оборудования, должны по возможности согласовать свои действия в целях идентификации всех возможных способов использования машины и (или) оборудования, включая прогнозируемое неправильное применение. Анализ выполняемых задач и рабочих ситуаций должен охватить как персонал, занимающийся эксплуатацией машины и (или) оборудования, так и лиц, осуществляющих их техническое обслуживание. При этом необходимо учесть также следующие факторы:

а) имеющаяся информация о способах использования машины и (или) оборудования;

б) наиболее простые или наиболее быстрые методы выполнения тех или иных задач, которые могут отличаться от методов, предусмотренных в руководствах по эксплуатации;

в) рефлекторное поведение операторов, использующих машину и (или) оборудование, при возникновении неисправностей, инцидентов или отказов;

г) ошибки операторов.

7 Идентификация опасностей

7.1 Общие сведения

7.1.1 Важным этапом оценки риска или вероятности наступления опасного события любой машины и (или) оборудования, который осуществляется после определения пределов ее эксплуатации, является систематическая **идентификация прогнозируемых опасностей и опасных событий**, кото-

рые могут иметь место в течение всего жизненного цикла машины и (или) оборудования, в том числе во время:

а) транспортировки, сборки и монтажа;

б) ввода в эксплуатацию;

в) эксплуатации;

г) вывода из эксплуатации, демонтажа и утилизации.

Предполагается, что связанная с машиной и оборудованием опасность рано или поздно приведет к нанесению вреда, если ее не устранить или не предпринять необходимых защитных мер.

7.1.2 Надлежащие мероприятия по устранению источника опасности или снижению связанного с ним риска могут быть приняты только после идентификации этого источника. Этот процесс состоит в установлении операций, которые выполняют машина и (или) оборудование, и задач, которые выполняют взаимодействующие с ними лица. При этом необходимо учитывать различные детали, механизмы и функции машины и (или) оборудования, обрабатываемые материалы и, если необходимо, условия окружающей среды, в которых эксплуатируют машину и (или) оборудование, а также возможные критические отказы и критические воздействия машины и (или) оборудования и их последствия.

7.1.3 В ходе идентификации опасностей необходимо составить перечень опасностей и опасных событий, который позволил бы описать все возможные сценарии критических отказов и воздействий и их последствий и понять, как и когда развитие опасного события может привести к нанесению вреда. В качестве образца можно использовать приложение Б к настоящему стандарту, которое представляет собой обобщенный контрольный перечень характерных опасностей. Другие источники информации, которые могут быть использованы для идентификации опасностей, перечислены в А.2 (приложение А).

Примечание — В А.2 (приложение А) приведен пример идентификации опасностей при помощи форм.

При идентификации опасностей и разработке защитных мер полезно использовать в качестве ссылочного материала стандарты, относящиеся к машинам и (или) оборудованию данного типа или к характерным для них опасностям.

Идентификация опасностей является важным этапом оценки. Только после того как опасность будет идентифицирована, могут быть предприняты какие-либо действия по ее снижению (см. раздел 6). Наличие неидентифицированных опасностей может привести к нанесению вреда. Поэтому важно, чтобы процесс идентификации опасностей проходил как можно более систематически и комплексно, с учетом всех факторов, перечисленных в 8.3.

7.1.4 При идентификации опасностей необходимо рассмотреть все задачи, выполняемые на протяжении всех перечисленных выше фаз жизненного цикла машины и (или) оборудования, в том числе должны быть рассмотрены задачи, относящиеся к следующим категориям:

- настройка и тестирование;
- обучение/программирование;
- смена производственного процесса/инструмента;
- запуск и все режимы работы;
- действия при достижении предельного состояния и возникновении критических отказов;
- питание машины;
- удаление продукции из машины и (или) оборудования;
- останов и аварийный останов машины, перезапуск после незапланированной остановки;
- поиск и устранение неисправностей (вмешательство оператора);
- профилактическое и внеплановое техническое обслуживание.

В приложении Б к настоящему стандарту приведены примеры опасностей, опасных ситуаций и опасных событий, которые могут быть полезны при идентификации источников опасности. Кроме того, необходимо идентифицировать прогнозируемые источники опасности и опасные события, которые не имеют прямого отношения к выполняемым задачам (например, сейсмические явления, удары молний, чрезмерные выпадения снега и др.).

7.2 Методы идентификации опасностей

7.2.1 Наиболее эффективными методами идентификации опасностей являются структурированные: они позволяют тщательно рассмотреть все этапы жизненного цикла машины и оборудования, все режимы работы, все выполняемые ими функции.

Существуют различные структурированные методы идентификации опасностей. В общем случае следует придерживаться одного из двух описанных ниже принципов (см. рисунок 3).

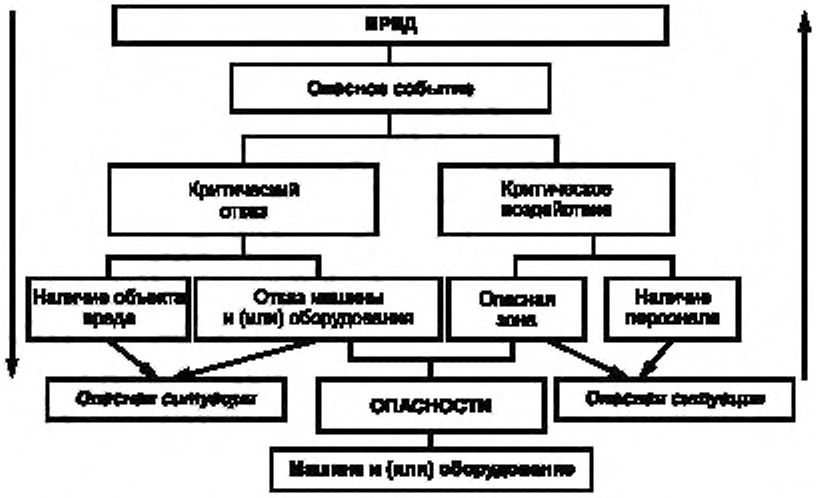


Рисунок 3 — Нисходящий и восходящий принципы идентификации опасностей

7.2.2 Нисходящий (сверху вниз) принцип идентификации опасностей предполагает, что в качестве отправной точки используется контрольный перечень потенциальных последствий отказов и воздействий (перечень потенциальных последствий приведен в таблице А.1 приложения А), на основании которого делают выводы о том, что может послужить причиной этого вреда. Таким образом, данный принцип предполагает, что выявление опасностей производят на основании перечня опасных событий. Каждый из пунктов этого перечня рассматривают применительно ко всем этапам жизненного цикла машины и оборудования, а также всех ее составных частей, функций и/или задач. Одним из недостатков нисходящего принципа идентификации опасностей является то, что используемый в качестве основы перечень не может быть полным. При этом группа исполнителей, обладающих недостаточным опытом, может этого не заметить. Таким образом, контрольные перечни нельзя расценивать как исчерпывающие, но можно использовать как основу для креативного мышления, выходящего за пределы перечней.

7.2.3 При использовании восходящего (снизу вверх) принципа идентификации опасностей рассматривают все возможные опасности. При этом для каждой опасности (например, отказ компонента машины, ошибка оператора, неисправность или непредвиденная работа машины и оборудования) устанавливают возможные последствия ее возникновения и вред, к которому она может привести (см. таблицу А.1). Восходящий принцип идентификации опасностей является более комплексным, чем нисходящий, и позволяет более тщательно идентифицировать опасности, однако на выполнение этой работы может потребоваться чрезмерно много времени.

7.2.4 Пример идентификации опасностей приведен в приложении В.

7.3 Сохранение информации

Информация, накапливаемая в ходе идентификации опасностей, должна быть сохранена. При этом следует использовать определенную систему, которая позволяет как можно более четко описать следующие аспекты:

а) источник опасности и его местоположение (опасная зона);

б) опасное воздействие: различные типы людей (например, персонал, выполняющий техническое обслуживание, операторы, прохожие) и задачи/работы, при выполнении которых они подвергаются опасности, возможные критические отказы;

в) вред, который может быть нанесен при наступлении критического отказа или в результате критического воздействия. Иногда на данном этапе оценки удается учесть также следующие данные:

1) характер и степень тяжести вреда (последствий) в терминах, относящихся к данным машине и оборудованию (например, защемление пальцев при нисходящем движении пресса во время регулировки положения заготовки), а не в общем смысле (например, защемление);

2) защитные меры и их эффективность.

8 Расчет степени риска

8.1 Общие сведения

После идентификации опасности (см. раздел 7) следует произвести расчет степени связанного с ней риска для каждого опасного события (критического отказа и воздействия).

Для этого требуется определить перечисленные в 8.2 элементы риска и учесть все аспекты, указанные в 8.3. Алгоритм расчета степени риска можно представить в виде следующей схемы (рисунок 4).

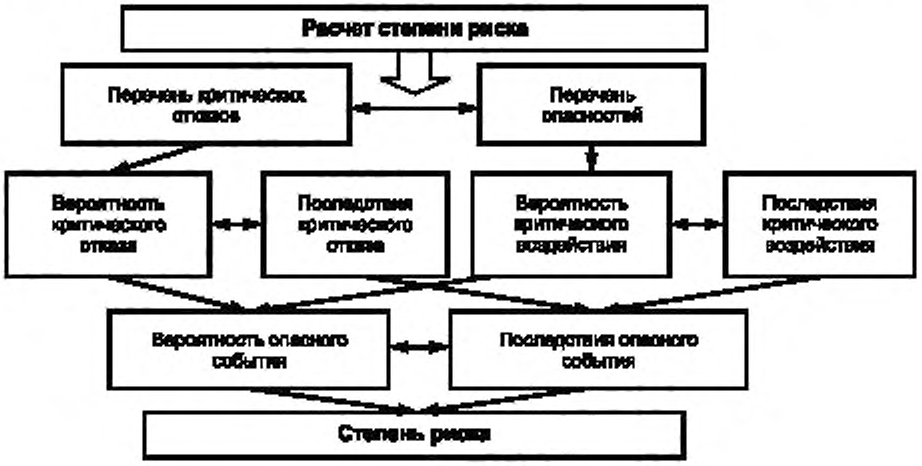


Рисунок 4 — Алгоритм расчета степени риска

Расчет степени риска может быть осуществлен разными методами — от простых количественных до комплексных качественных методов. Ниже приведены основные особенности этих методов.

8.2 Элементы риска

8.2.1 Общие сведения

Риск, связанный с той или иной опасной ситуацией, зависит от следующих элементов:

а) степень тяжести вреда;

б) вероятность нанесения вреда, которая определяется следующими факторами:

1) частота и продолжительность воздействия данной опасности на людей;

2) вероятность наступления опасного события;

3) наличие технических или человеческих средств исключения или ограничения вреда.

Элементы риска показаны на рисунке 5. Более подробные сведения о них приведены в 8.2.2, 8.2.3 и 8.3.

Рисунок 5 — Элементы риска

8.2.2 Степень тяжести вреда

Оценка степени тяжести вреда должна быть выполнена с учетом следующих факторов:

а) степень тяжести травм или ущерба для здоровья, например:

- легкие;
- тяжелые;
- смерть;

б) масштаб нанесенного вреда людям, системе, объекту, окружающей среде, например:

- один человек;
- несколько человек;
- местный;
- локальный;
- региональный.

По определению двумя главными характеристиками риска являются тяжесть и вероятность нанесения вреда. В ходе расчета степени риска (см. рисунок 4) необходимо определить наиболее сильный риск для каждого опасного события. При этом результат расчета степени риска обычно выражают в виде уровня, показателя или балла.

Вероятность нанесения вреда связана с возникновением опасных событий. При этом возникновение опасных событий в значительной мере обусловлено критическими отказами машины и (или) оборудования. Виды критических отказов машины и (или) оборудования устанавливаются в результате АВПКО. ВБР машины и (или) оборудования по критическим отказам должна быть учтена в контексте анализа тяжести вреда (см. 8.2.3).

В результате того или иного опасного события может быть нанесен вред различной степени тяжести. Однако при расчете в общем случае с каждым событием связывают только одно значение, характеризующее потенциальный ущерб. Аналитик должен рассматривать максимально высокий риск, поэтому важно определить наиболее тяжкие последствия из числа тех, которые реально могут иметь место. Однако вероятность нанесения наиболее тяжкого вреда может быть на несколько порядков меньше, чем вероятность наступления менее тяжких, но более реалистичных последствий.

Кроме того, выбрать для анализа единственное значение степени тяжести может быть достаточно трудно. Вероятность нанесения наиболее тяжелого вреда может быть минимальной, а его наиболее вероятные последствия — несущественными. Выбор любого из этих вариантов приведет к тому, что результаты расчета окажутся несоответствующими действительности.

Например, наиболее тяжелым последствием несчастного случая является смерть. Простой порез может стать причиной смерти, если возникнет заражение крови или будет задета артерия. Тем не менее несмотря на то, что порезы — достаточно частое явление, они очень редко приводят к смерти пострадавшего. Поэтому при расчете степени риска может быть полезным рассмотреть несколько различных репрезентативных значений степени тяжести, а затем выбрать среди них то, которое сопряжено с наибольшим риском.

Примеры различных способов классификации степени тяжести вреда приведены в описании различных подходов к расчету степени риска в приложении Б.

8.2.3 Вероятность нанесения вреда

8.2.3.1 Общие сведения

Оценка вероятности нанесения вреда может быть выполнена с учетом факторов, указанных в 8.2.3.2—8.2.3.5.

Независимо от выбора метода расчета степени риска, необходимо оценить вероятность нанесения вреда с учетом следующих факторов:

а) частота и продолжительность воздействия данной опасности (см. 8.2.3.2);

б) вероятность наступления опасного события (см. 8.2.3.3);

в) наличие технических или человеческих средств исключения или ограничения вреда (см. 8.2.3.5).

Опасная ситуация возникает, когда один или несколько человек подвергаются опасности или когда отказ машины и (или) оборудования может быть критическим (может нанести вред). При этом, как показано на рисунке 3, нанесение вреда является следствием опасного события, в том числе критического отказа и (или) критического воздействия. При оценке вероятности нанесения вреда следует рассмотреть все аспекты, перечисленные в 6.3.

8.2.3.2 Частота и продолжительность воздействия опасности

Частота и продолжительность воздействия опасности определяет вероятность нанесения вреда. Для оценки частоты и продолжительности воздействия необходимо рассмотреть следующие факторы:

а) необходимость доступа в опасную зону (например, для нормальной работы, устранения неисправности, технического обслуживания или ремонта);

б) характер доступа (например, ручная подача материалов);

в) продолжительность нахождения в опасной зоне;

г) число человек, подверженных опасности;

д) частота попадания в опасную зону;

е) интенсивность отказов машины и (или) оборудования.

8.2.3.3 Вероятность наступления опасного события

Для оценки вероятности наступления опасного события необходимо рассмотреть следующие факторы:

а) сведения о надежности машины и (или) оборудования, в том числе по критическим отказам;

б) история нанесения ущерба здоровью, вреда;

в) сравнительный анализ степени риска (см. 9.3).

Примечание — Вероятность возникновения опасных событий может определяться как техническими, так и человеческими факторами.

Пример расчета вероятности наступления опасного события — несчастного случая — приведен в А.6 (приложение А). При анализе вероятности наступления опасного события рекомендуется руководствоваться также ГОСТ Р 51901.12.

Для расчета вероятности наступления опасного события — критического отказа (или ВБР) изделий (машин, оборудования) могут также применяться методы, приведенные в ГОСТ 27.301:

1) Структурный метод расчета ВБР с составлением структурной блок-схемы надежности соединения элементов

Расчет ВБР машины и (или) оборудования производят, исходя из ВБР (интенсивности отказов) элементов и узлов.

Расчет ВБР включает в себя:

- представление машины и (или) оборудования в виде структурной блок-схемы, описывающей взаимодействие элементов с учетом структурно-функциональных связей;
- описание построенной структурной блок-схемы надежности (ССН) машины и (или) оборудования соответствующей математической моделью;
- определение ВБР машины и (или) оборудования.

ССН должна отражать связи элементов в конструкции машины и (или) оборудования, определяющие безотказность. ССН машины и (или) оборудования может представлять собой последовательное, параллельное или всевозможные сочетания последовательного и параллельного соединений систем и элементов. Элементы могут быть однотипными и разнотипными.

ССН может быть составлена для каждого функционального назначения. В этом случае по вероятностям выполнения отдельных функций можно определять вероятность безотказного функционирования машины и (или) оборудования в целом, при этом ССН будет иметь вид последовательного соединения элементов-функций.

2) Метод расчета ВБР по критериям отказов

Для оценки ВБР машины и (или) оборудования следует построить схему отказов машины и (или) оборудования следующим образом:

- 1-й уровень — состояние машины и (или) оборудования (работоспособное, неработоспособное) или событие (отказ (предельное состояние) или отсутствие отказа (предельного состояния));
- 2-й уровень — состояния, функции, от которых зависит 1-й уровень (критерии отказов и предельных состояний);
- 3-й уровень (и последующие уровни) — элементы машины и (или) оборудования или события, от которых зависит 2-й (предыдущий) уровень.

ВБР машины и (или) оборудования (1-й уровень) определяется как произведение ВБР по каждому критерию отказов (предельных состояний) на 2-м уровне.

При расчете вероятностей по каждому критерию учитывают интенсивности отказов (ВБР) только тех узлов и деталей машины и (или) оборудования, которые влияют на отказ по рассматриваемому критерию.

Пример расчета ВБР изделий (машин, оборудования) по критериям отказов приведен в А.8 (приложение А).

3) Метод расчета ВБР по прочности, нагрузке и параметрам

ВБР машины и (или) оборудования определяют как произведение вероятности неразрушения наиболее слабого узла детали и вероятности невыхода параметров функционирования за допустимые границы.

Наиболее слабый элемент определяют по машине (оборудованию)-прототипу или по прочностному расчету (элемент, имеющий наименьший запас прочности по критерию прочности, или по критерию текучести, или по другому принятому критерию) с учетом динамики и величины нагрузок, возникающих на элементах рассматриваемой конструкции или прототипа.

Вероятность невыхода параметров функционирования за допустимые границы определяется как наименьшее значение из вероятностей невыхода за допустимые пределы по всем рассматриваемым параметрам функционирования.

8.2.3.4 Вероятность нанесения накапливающегося вреда (вопросы здоровья)

Опасные ситуации, в которых человек подвергается длительному воздействию факторов, которые со временем могут негативно отразиться на его здоровье (развитие дерматита, астмы, глухоты, травм от повторяющихся нагрузок), требуют при их рассмотрении иного подхода, чем ситуации, которые могут привести к мгновенному получению вреда (порезы, переломы костей, ампутации или быстро развивающиеся повреждения органов дыхания).

Вероятность нанесения вреда зависит от частоты и продолжительности воздействия опасного фактора. Поэтому, если эти показатели превышают установленные безопасные для здоровья нормы, такое воздействие следует рассматривать как опасное (критическое).

Суммарное воздействие (доза) опасного фактора определяется количеством воздействий, их продолжительностью и интенсивностью. Например:

- при повреждении органов дыхания доза зависит от концентрации вредных веществ;
- при потере слуха доза определяется уровнем шума;
- при травмах от повторяющихся нагрузок доза определяется характером нагрузки и частотой ее повторения.

Различие между вредом, наступающим при мгновенном и при длительном воздействии опасного фактора, можно пояснить на примере травмы нижней части позвоночника. Такая травма может возникнуть при подъеме слишком тяжелого груза либо при периодическом подъеме относительно небольших тяжестей.

8.2.3.5 Возможность исключения или ограничения вреда

Возможность исключения или ограничения вреда влияет на вероятность нанесения вреда. Для оценки этой возможности необходимо рассмотреть следующие факторы:

а) какова квалификация лиц, подвергающихся опасности, например:
- квалифицированные;
- неквалифицированные;

б) насколько быстро опасная ситуация может привести к нанесению вреда, например:
- мгновенно;
- быстро;
- медленно;

в) каков характер осведомленности о риске, например:
- источники общей информации, например руководство по эксплуатации;
- личное наблюдение;
- предупреждающие знаки, указатели, в частности расположенные на машине;

г) имеются ли возможности исключения или ограничения вреда персоналу (пользователю) (например, рефлекс, ловкость, возможность уклониться);

д) имеется ли практический опыт и знания, например:
- опыт работы с данной машиной и (или) оборудованием;
- опыт работы с аналогичными машинами и (или) оборудованием;
- отсутствие опыта.

8.3 Аспекты, принимаемые во внимание при расчете степени риска

8.3.1 Лица, подвергающиеся опасности

При расчете степени риска необходимо принять во внимание всех лиц (операторов и других лиц), в отношении которых можно прогнозировать, что они будут подвергаться опасности.

8.3.2 Тип, частота и продолжительность воздействия

Для того чтобы оценить воздействие данной опасности (включая длительный ущерб здоровью), требуется проанализировать и принять во внимание все режимы работы машины и (или) оборудования и методы работы с ними. В частности, следует учесть необходимость доступа к машине и (или) оборудованию во время настройки, обучения, смены или коррекции технологического процесса, чистки, поиска и устранения неисправностей и технического обслуживания. При расчете степени риска, кроме того, необходимо принять во внимание задачи, выполнение которых требует отключения защитных приспособлений.

8.3.3 Взаимосвязь между воздействием опасности и ее последствиями

Необходимо учесть взаимосвязь между воздействием опасности и ее последствиями для каждой из рассматриваемых опасных ситуаций. Необходимо принять во внимание эффект накопления воздействия и синергетический эффект. Расчет степени риска, произведенный на основе рассмотрения этих эффектов, насколько это возможно, должен основываться на соответствующих достоверных данных.

Примечание — В наличии могут быть данные, позволяющие определить вероятность и степень тяжести вреда при эксплуатации машин и (или) оборудования данного типа и при использовании защитных приспособлений определенного типа.

8.3.4 Человеческий фактор

Человеческий фактор может оказывать влияние на риск и должен учитываться при его расчете. При этом необходимо рассмотреть, например:

а) взаимодействие людей с машиной и (или) оборудованием, включая устранение неисправностей;

б) взаимодействие между людьми;

в) психологические аспекты;

г) эргономические аспекты;

д) способность осознавать риск в той или иной ситуации, зависящая от навыков, опыта или способностей;

е) усталость.

Навыки, опыт и способности человека могут оказывать влияние на риск, но ни один из этих факторов не нужно использовать для исключения опасности или снижения риска взамен конструктивных решений или защитных приспособлений, если такие решения или приспособления могут быть реализованы на практике.

Кроме того, в этом контексте необходимо рассмотреть риск для людей с ограниченными возможностями (например, по инвалидности, возрасту).

8.3.5 Адекватность защитных мер

При расчете степени риска необходимо учитывать адекватность защитных мер. При этом следует:

а) идентифицировать обстоятельства, при которых может иметь место нанесение вреда;

б) по возможности использовать количественные методы сравнения альтернативных защитных мер;

в) сформулировать информацию, на основе которой можно осуществить выбор наиболее эффективных защитных мер.

Особого внимания при расчете требуют компоненты и системы, в отношении которых было установлено, что связанный с ними риск мгновенно увеличивается в случае неисправности и возникновения критического отказа.

Кроме того, при расчете следует принять во внимание то, что защитные меры, включающие организацию работ, соблюдение правил безопасности, применение индивидуальных средств защиты, а также наличие навыков или квалификации, относительно ненадежны по сравнению с проверенными техническими средствами защиты.

8.3.6 Возможность отключения или обхода защитных средств

При расчете степени риска следует принимать во внимание возможность отключения или обхода защитных средств. В частности, следует учитывать, что отключение или обход защитных средств может быть желательным, например, в следующих случаях:

а) защитные средства снижают производительность, препятствуют выполнению каких-либо действий или не соответствуют предпочтениям пользователя;

б) защитные средства сложно использовать;

в) помимо операторов в работе участвуют и другие лица;

г) пользователь не осведомлен о защитных средствах либо не считает, что их использование необходимо.

Возможность отключения или обхода защитных средств определяется как их типом (например, защитное ограждение, программное устройство отключения), так и конструкцией.

Использование программируемых электронных систем сопряжено с дополнительной вероятностью их отключения или обхода, если доступ к соответствующему программному обеспечению неэффективно защищен и недостаточно контролируется. При этом в ходе расчета степени риска необходимо учесть случаи, когда защитные функции неотделимы от других функций машины, а также определить пределы возможного доступа к ним. Это особенно важно, когда для диагностики или коррекции технологического процесса необходимо использовать дистанционный доступ к машине.

8.3.7 Возможность поддержания надлежащего состояния защитных средств

При расчете степени риска следует принимать во внимание возможность поддержания защитных средств в состоянии, необходимом для обеспечения надлежащего уровня защиты.

Примечание — Если защитные средства трудно поддерживать в исправном рабочем состоянии, при продолжительной эксплуатации машины это может стать стимулом для их отключения или обхода.

8.3.8 Руководство по эксплуатации машины и (или) оборудования

Расчет степени риска необходимо производить с учетом информации, содержащейся в руководстве по эксплуатации машины и (или) оборудования.

8.4 Способы расчета степени риска

8.4.1 Общие сведения

Для расчета степени риска можно использовать различные способы, большая часть которых основана на применении одного из следующих методов:

- матрица рисков;
- граф рисков;
- балловая система;
- количественный расчет степени риска.

Кроме того, существуют комбинированные способы, основанные на применении нескольких методов.

Выбор того или иного метода расчета степени риска не имеет принципиальной важности. Итоговой целью работы является оценка риска, а получение точных количественных результатов при условии рассмотрения всех факторов, перечисленных в 8.2, не является приоритетной задачей. Более того, при распределении ресурсов для выполнения отдельных задач оценки риска большее внимание следует уделять снижению риска, а не его точной количественной оценке.

Любые качественные и количественные методы расчета степени риска основаны на использовании двух параметров, которые позволяют охарактеризовать каждый фактор риска. Одним из этих параметров является тяжесть вреда (см. 8.2.2), хотя некоторые методы расчета основаны на использовании частоты его нанесения. В качестве второго параметра используется вероятность нанесения вреда (см. 8.2.3).

Некоторые методы предполагают анализ таких параметров, как частота и продолжительность воздействия, вероятность наступления опасного события и возможность исключения или ограничения вреда (см. 8.2).

Отдельные методы расчета степени риска состоят в том, что для каждого из параметров выбирают определенный класс, наиболее всего соответствующий опасной ситуации/событию (т. е. сценарию несчастного случая или другого вреда). Затем рассматривают сочетание выбранных классов с использованием простых арифметических расчетов, таблиц, графиков или схем.

Количественные методы расчета позволяют установить частоту (например, в год) или вероятность (за определенный период времени, наработку) нанесения вреда той или иной тяжести.

В общем случае разработчик может лишь установить, что было обеспечено адекватное или заданное снижение риска.

8.4.2 Матрицы рисков

Матрица рисков представляет собой многомерную таблицу, посредством которой можно сопоставить любой класс тяжести нанесенного вреда (см. 8.2.2) с любым классом вероятности его нанесения (см. 8.2.3). Чаще всего используют двухмерные матрицы, однако в общем случае размерность матрицы может достигать четырех.

Порядок работы с матрицей достаточно прост. Для каждой выявленной опасной ситуации, исходя из перечисленных выше соображений, выбирают по одному классу каждого параметра. Искомый

уровень риска определяют по содержимому ячейки, находящейся на пересечении соответствующих этим классам графы и строки матрицы, и выражают в баллах (например, от 1 до 6 или от A до D) либо в качественных определениях (низкий, средний, высокий и т. п.).

Количество ячеек может быть различным: в зависимости от необходимости может быть выбрано небольшое (например, четыре) или достаточно большое (например, 36) количество ячеек. Матрицы с небольшим количеством ячеек могут оказаться неэффективными для принятия решений, необходимых для выбора защитных мер для снижения риска. Работа с матрицами с большим количеством ячеек может быть затруднительной. Для того чтобы уменьшить число градаций риска, ячейки могут быть сгруппированы.

Существует большое количество разных матриц для расчета степени риска. Пример матрицы приведен в А.3 (приложение А).

8.4.3 Графы рисков

Граф рисков представляет собой дерево принятия решений. Узлы графа соответствуют параметрам риска (тяжесть вреда, вероятность его нанесения и т. д.), а ветви — классам этих параметров (например, незначительный вред, тяжкий вред и т. д.).

Для каждой опасной ситуации определяют классы всех параметров. Затем, начиная от точки начала, прокладывают маршрут по графу рисков. В каждой следующей точке маршрута выбирают ветвь, соответствующую выбранному классу параметра. Последняя точка маршрута определяет уровень или количественное значение степени риска, соответствующее данному сочетанию выбранных классов. Для его выражения можно использовать баллы (например, от 1 до 6 или от A до D) либо качественные определения (низкий, средний, высокий и т. п.).

Использование графов рисков может быть эффективным для иллюстрации снижения риска, достигнутого в результате применения защитных мер.

Графы, в которых для нескольких параметров риска используют более двух ветвей, могут быть очень громоздкими, поэтому часто используют комбинированные способы расчета с применением графов рисков и матриц рисков (см. 8.4.6).

Пример графа рисков приведен в А.4 (приложение А).

8.4.4 Балловая система

При использовании способов расчета, основанных на применении балловой системы, выбирают от двух до четырех параметров, каждому из которых, как и в случаях с графами и матрицами рисков, присваивают различные классы. Однако каждый из этих классов сопоставляют не с качественным определением, а с количественным показателем (например, от 1 до 20). Значения (баллы), соответствующие классам, выбранным для каждого из параметров, используют для расчета (например, путем сложения или умножения), результатом которого является количественная оценка. В некоторых случаях для вычислений используются таблицы, в результате чего порядок расчета становится аналогичным применению матриц рисков (см. 8.4.2).

Балловая система позволяет достаточно легко и естественно определить весовые коэффициенты различных параметров. Использование цифровых значений для представления результатов обеспечивает объективность оценки уровня риска, даже если значения, соответствующие отдельным классам параметров, были выбраны весьма субъективно. Отдельные диапазоны значений могут быть охарактеризованы качественными определениями (низкий, средний, высокий и т. п.).

Существует большое количество различных способов расчета степени риска, основанных на балловой системе. Пример приведен в А.5 (приложение А).

8.4.5 Количественный расчет степени риска

Все описанные выше способы расчета являются качественными, несмотря на то, что в некоторых из них для выражения уровней риска используют числа. Такого рода расчеты не могут опираться на единую шкалу эталонных значений, а полученные с их помощью числовые значения не могут быть использованы для сравнения с результатами оценки, произведенной другим способом.

В основе количественных способов расчета лежат математические вычисления, которые выполняют с максимальной точностью с использованием имеющихся исходных данных о вероятности наступления тех или иных последствий за определенный интервал времени. Итоговые значения уровней риска чаще всего выражаются в виде количества смертельных исходов или другого вреда в год. При количественном расчете вычисленные значения могут быть использованы для сравнения с другими показателями смертности, данными статистики несчастных случаев или другого вреда. Количественная оценка результата применения защитных мер для снижения риска позволяет выбрать наиболее эффективное с экономической точки зрения решение. В отличие от качественных методов расчета,

используемых для оценки степени риска в каждой из опасных ситуаций, количественный расчет позволяет определить суммарный риск с учетом всех источников опасности.

Надлежащим образом выполненный количественный расчет можно использовать для достаточно комплексного анализа и получения четкой картины развития опасной ситуации до нанесения вреда. Благодаря этому удается выработать большее количество предложений по снижению риска, выбрать защитные меры исходя из понимания механизмов возникновения вреда. Кроме того, результаты количественных расчетов могут быть использованы для сравнения различных защитных мер при равенстве всех прочих параметров.

Однако количественный расчет степени риска требует большого количества ресурсов, предъявляет высокие требования к квалификации исполнителей. Для его выполнения необходимо составить подробную комплексную цепь событий (поломка единицы оборудования, ошибка оператора и т. д.), которые приводят к определенному результату. При этом точность анализа в значительной степени зависит от качества исходных данных. Таким образом, результат количественного анализа может быть субъективным и ошибочным.

Если итоговое значение риска очень мало, например $1{,}54 \cdot 10^{-4}$, может возникнуть впечатление высокой точности результата. Однако на самом деле такой результат говорит о том, что использованные для расчета исходные данные были недостаточно достоверны. При этом ошибка может достигать одного или нескольких порядков, т. е. вычисление риска с точностью более одного знака нецелесообразно.

Для того чтобы снизить трудоемкость расчета с нуля, а также для того чтобы повысить достоверность и несколько снизить субъективность результатов, разработано несколько рекомендаций по выполнению количественных расчетов степени риска. Пример такого расчета приведен в А.6 (приложение А).

8.4.6 Комбинированные способы расчета

Комбинированные способы расчета представляют собой сочетание одного или нескольких описанных выше способов. Чаще всего используют графы рисков, при помощи которых осуществляется выбор матриц или балловых систем для дальнейшего расчета. В некоторых случаях качественные методы анализа дополняют количественным расчетом, в том числе путем сопоставления определенных частотных диапазонов и значений вероятности или продолжительности воздействия. Например, параметр, значение которого характеризуется определением «вероятно», может быть принят равным одному случаю в год, а параметр с определением «весьма вероятно» равным одному случаю в час.

Пример комбинированного способа расчета приведен в А.7 (приложение А).

9 Оценка риска

9.1 Оценка степени риска

По завершении расчета степени риска (см. раздел 8) необходимо провести оценку степени риска, в ходе которой следует определить, требуется ли принимать меры по снижению риска. Если снижение риска необходимо, следует выбрать и применить соответствующие защитные меры, а затем повторно произвести оценку степени риска (см. рисунки 1 и 2). В ходе этого итеративного процесса разработчик должен убедиться в том, что после применения защитных мер не появились новые источники опасности, а риск, связанный с опасностями, идентифицированными ранее, не увеличился. В случае обнаружения новых источников опасности необходимо внести их в общий список и разработать для них надлежащие защитные меры.

Работы по снижению риска можно считать завершенными, если обеспечено адекватное снижение риска (см. 9.2) либо получены благоприятные результаты сравнения с аналогичными машинами и (или) оборудованием (см. 9.3), если такое сравнение допустимо.

Оценка степени риска позволяет решить следующие задачи:

- определить, какие опасные ситуации требуют дальнейшего снижения риска;
- определить, не стали ли принятые защитные меры причиной появления новых источников опасности или увеличения степени риска ранее выявленных опасностей.

Некоторые опасные ситуации могут быть исключены из дальнейшего рассмотрения в силу очень низкого уровня риска. Опасные ситуации, связанные со значительным уровнем риска, требуют принятия мер для его снижения. Опасные ситуации, характеризующиеся высоким уровнем риска, следует проанализировать более тщательно.

Если на машины и (или) оборудование данного типа или на те или иные источники опасности распространяется действие специальных стандартов, часть мероприятий по оценке степени риска может состоять в обеспечении выполнения требований этих стандартов. При этом следует учитывать ограничения защитных мер, предусмотренных для машин и оборудования данного типа.

В ходе оценки степени риска можно произвести сравнение рисков, связанных с машиной и (или) оборудованием или их составными частями, с требованиями соответствующих национальных и международных стандартов.

В общем случае результаты оценки степени риска являются единственным критерием для прекращения итеративного процесса снижения риска. Однако при этом также необходимо принимать во внимание требования различных нормативных документов, используемые на практике методы организации работ, технические и экономические ограничения (см. 9.2).

Необходимо учитывать, что, уделяя чрезмерное внимание опасностям с высокой степенью риска, можно забыть о простых и эффективных мерах защиты от менее существенных опасностей.

9.2 Достижение адекватного снижения риска

9.2.1 Метод трех условий

Судить о завершении работ по снижению риска можно на основании выполнения следующих трех условий:

а) источник опасности устранен, либо степень риска снижена за счет изменения конструкции, использования менее опасных материалов или веществ, либо путем использования эргономических принципов (требования к заведомо безопасным подходам к конструированию приведены в ГОСТ Р ИСО 12100-2, раздел 4);

б) степень риска снижена за счет применения предохранительных или дополнительных защитных средств соответствующего типа, которые могут быть использованы в данных условиях и обеспечивают снижение риска при использовании машины и (или) оборудования по назначению и их прогнозируемом неправильном применении (требования к предохранительным или дополнительным защитным средствам приведены в ГОСТ Р ИСО 12100-2, раздел 5);

в) если использование предохранительных или дополнительных защитных средств невозможно либо не обеспечивает адекватного снижения риска, сведения об остаточном риске должны быть включены в состав информации по порядку работы с машиной и (или) оборудованием. Эта информация должна включать в себя следующие сведения:

1) описание порядка работы с машиной и (или) оборудованием, рассчитанного на людей, которые, как ожидается, будут заняты их эксплуатацией, а также на других лиц, которые могут подвергаться опасностям, связанным с ними;

2) рекомендуемые безопасные методы работы с машиной и (или) оборудованием, а также соответствующие требования к квалификации работников;

3) достаточная информация об остаточном риске, имеющем место на различных этапах жизненного цикла машины и (или) оборудования;

4) описание рекомендованных индивидуальных защитных приспособлений с указанием причин, по которым их следует применять, и необходимой для этого квалификации.

9.2.2 Признаки адекватного снижения риска

Снижение риска считается адекватным при выполнении следующих условий:

- рассмотрены все режимы работы и все возможные случаи вмешательства в работу машины и (или) оборудования;
- все источники опасности были исключены, риск снижен до минимально возможного уровня;
- учтены все источники опасности, возникшие в результате применения защитных мер;
- пользователи достаточным образом проинформированы и предупреждены об остаточном риске;
- защитные меры совместимы друг с другом;
- в полной мере учтены возможные последствия, к которым может привести использование машины и (или) оборудования, предназначенных для профессионального/промышленного использования, в условиях, отличных от профессиональных/промышленных;
- защитные меры не ухудшают условий работы оператора и не влияют на удобство работы с машиной и (или) оборудованием.

9.3 Сравнение рисков

В ходе оценки риска можно произвести сравнение результатов, полученных для данной машины и (или) оборудования или их части, с данными по аналогичным машинам и (или) оборудованию или их частям при выполнении следующих условий:

- аналогичная машина и (или) оборудование соответствует требованиям действующих стандартов;
- машины и (или) оборудование аналогичны в отношении использования по назначению, прогнозируемого неправильного применения и конструкции;
- опасности и элементы риска допускают возможность сравнения;
- машины и (или) оборудование обладают аналогичными техническими характеристиками;
- машины и (или) оборудование эксплуатируют в аналогичных условиях.

Такое сравнение не исключает необходимости проведения оценки риска для специфичных для данной машины и (или) оборудования условий эксплуатации (например, если ленточная пила для резки мяса сравнивается с аналогичной пилой для резки дерева, необходимо оценить риск, связанный с различием материалов).

Снижения риска достигают за счет применения защитных мер, соответствующих требованиям [1] и других нормативных документов, а также за счет выполнения рекомендаций, выработанных в ходе оценки риска. На этапе снижения риска принимают решения о том, какие действия должны быть выполнены, кто будет их выполнять и за какие средства.

Относительная эффективность различных защитных мер в отношении снижения риска показана в таблице 1, в которой описан процесс принятия решений (см. также подраздел 5.4 ГОСТ Р ИСО 12100-1).

Таблица 1 — Эффективность различных защитных мер для снижения риска

Предпочтительные действия	Приоритет[a)]	Альтернатива
Устранение опасности	1	Снижение степени тяжести вреда, связанного с данной опасностью
Устранение опасных ситуаций, т. е. воздействия источника опасности	2	Снижение частоты и (или) продолжительности воздействия
Устранение возможности наступления опасных событий	3	Снижение вероятности наступления опасных событий
Применение средств защиты от нанесения вреда	4	Применение средств, позволяющих уменьшить вред
[a)] Наивысшим приоритетом является 1.		

Ниже перечислены защитные меры различных типов в порядке их эффективности. Приведены также пояснения по их влиянию на снижение соответствующих элементов риска.

Примечание — Данные сведения приведены только для справки и не являются полными. Более подробная информация приведена в ГОСТ Р ИСО 12100-2.

9.4 Устранение источников опасности конструктивными методами

Первым этапом процесса снижения риска является устранение источников опасности путем внесения изменений в конструкцию. Этот способ является наиболее эффективным, так как позволяет устранить непосредственно причину нанесения вреда. Ниже приведены примеры устранения источников опасности этим способом:

- замена опасных материалов и веществ;
- повышение надежности компонентов машины и (или) оборудования (механических, электрических/электронных, гидравлических/пневматических), в том числе путем резервирования (дублирования) элементов конструкции, имеющих наименьшую надежность, и (или) уменьшения периода их эксплуатации;
- изменение физических особенностей (например, устранение острых и режущих кромок);
- устранение повторяющихся действий и вредных для здоровья положений.

9.5 Снижение риска конструктивными методами

Если источник опасности не может быть устранен путем внесения изменений в конструкцию, риск должен быть уменьшен посредством учета особенностей конструкции или изменения порядка работы с машиной и оборудованием.

В качестве примеров снижения риска путем снижения тяжести возможного вреда можно привести:

- уменьшение энергии (например, сил, гидравлического/пневматического давления, рабочей высоты, скорости);
- применение технических средств защиты для устранения/уменьшения опасности (например, вентиляционная система предотвращает возникновение взрывов, снижает концентрацию опасных паров).

В качестве примеров снижения риска путем снижения частоты и продолжительности воздействия источника опасности можно привести:

- уменьшение необходимости нахождения в опасной ситуации (ограничение частоты и продолжительности воздействия за счет механизации или автоматизации погрузочно-разгрузочных операций, подачи материала и извлечения готовых деталей; размещение элементов машины и оборудования, требующих настройки и технического обслуживания, в безопасных местах);
- перемещение источников опасности.

В качестве примеров снижения риска путем снижения вероятности наступления опасного события можно привести:

- повышение надежности компонентов машины и оборудования (механических, электрических/электронных, гидравлических/пневматических);
- применение конструктивных мер защиты элементов систем управления, отвечающих за безопасность работы машины и оборудования [основные принципы защиты, использование заведомо надежных принципов организации систем и (или) компонентов, резервирование].

9.6 Защитные устройства

Если не удается ни устранить источник опасности, ни адекватным образом снизить связанные с ним риски, следует установить защитные устройства (ограждения и другие средства защиты) в целях ограничения частоты и продолжительности воздействия источника опасности, снижения вероятности наступления опасных событий, а также в целях повышения возможности исключения или ограничения вреда.

Защитные устройства [см. перечисления а) и б)] практически не влияют на степень тяжести возможного вреда. Однако (при условии исправности и использования по назначению) они позволяют предотвратить воздействие источника опасности (см. подразделы 5.2—5.4 ГОСТ Р ИСО 12100-2):

а) неподвижные ограждения, решетки и закрытия, предотвращающие доступ в опасные зоны;

б) блокирующие ограждения, предотвращающие доступ в опасные зоны (например, блокировки с фиксацией или без фиксации ограждения, блокировки с ключом).

Защитные устройства, приведенные в перечислениях в), г) и д), практически не влияют на степень тяжести возможного вреда. Однако они позволяют уменьшить вероятность наступления опасного события;

в) чувствительное защитное оборудование, позволяющее обнаружить проникновение или нахождение каких-либо лиц в опасной зоне (например, световые барьеры, чувствительные к давлению коврики);

г) устройства, связанные с защитными функциями системы управления машиной и (или) оборудованием (например, устройство разблокировки, устройство ограничения перемещения, устройство предотвращения включения);

д) ограничительные устройства (например, устройства защиты от перегрузки и ограничения крутящего момента, устройства ограничения давления или температуры, реле превышения скорости, устройства контроля за выбросами вредных веществ).

9.7 Дополнительные защитные меры

Если установка защитных устройств не обеспечивает заданное снижение риска, следует использовать дополнительные защитные меры. В качестве примера дополнительных защитных мер, позволяющих исключить или уменьшить вред, можно привести:

- системы аварийного останова (см. пункт 5.5.2 ГОСТ Р ИСО 12100-2);

- пути спасения застрявших внутри машины работников (см. пункт 5.5.3 ГОСТ Р ИСО 12100-2);
- пути безопасного доступа к машине (см. пункт 5.5.6 ГОСТ Р ИСО 12100-2);
- средства простого и безопасного управления машиной или ее тяжелыми составными частями (см. пункт 4.8.3 ГОСТ Р ИСО 12100-2).

Кроме того, могут быть применены дополнительные защитные меры, представляющие собой средства изоляции или рассеяния энергии (например, изоляционные клапаны или реле, устройства блокировки, механические устройства блокировки, предотвращающие перемещение).

9.8 Информация о порядке работы с машиной и (или) оборудованием

9.8.1 Общие сведения

Поставщик должен предоставить пользователю информацию об остаточном риске, который не удалось устранить за счет конструктивных мер и применения защитных устройств.

Информация по порядку работы с машиной должна быть представлена в виде:
- информации, поставляемой вместе с машиной и (или) оборудованием;
- документации, поставляемой вместе с машиной и (или) оборудованием.

9.8.2 Документация, поставляемая вместе с машиной и (или) оборудованием

Вместе с машиной и (или) оборудованием должна быть поставлена следующая документация:

а) паспорт;

б) руководство по эксплуатации;

в) обоснование безопасности.

9.8.3 Информация, поставляемой вместе с машиной и (или) оборудованием

В дополнение к документации на машине и (или) оборудовании должны быть:

а) предупреждающие знаки (пиктограммы);

б) маркировка и надписи, предписывающие безопасную работу с машиной и (или) оборудованием (например, обозначения максимальной частоты вращения вращающихся частей, максимальной рабочей нагрузки, данные по регулировке защитных устройств, цветовые коды);

в) звуковая и световая сигнализация (например, сирены, звонки, свет);

г) другие предупредительные устройства (например, барьеры).

Информация о порядке работы с машиной и (или) оборудованием позволяет повысить возможность исключения вреда.

9.9 Обучение

Поставщик должен отразить в руководстве по эксплуатации машины и (или) оборудования все необходимые требования по обучению работников надлежащему порядку работы с машиной и (или) оборудованием и применению предусмотренных защитных мер. Обучение и ознакомление работников особенно важны, если эффективность защитных мер зависит от поведения человека. В программу обучения должны входить, в том числе, следующие вопросы:
- информация по порядку работы с машиной и (или) оборудованием, разработанная поставщиком;
- информация по порядку работы с машиной и (или) оборудованием, разработанная пользователем;
- специальная программа обучения, разработанная поставщиком;
- специальная программа обучения, разработанная пользователем.

Для того чтобы гарантировать длительную эффективность обучения, необходимо регулярно повторять курс обучения и проверять его усвоение. Не менее важно принуждать работников к правильному порядку работы. Обучение, главным образом, позволяет работникам избежать получения травм, а также снижает воздействие на них источников опасности и уменьшает вероятность наступления опасных событий.

9.10 Средства индивидуальной защиты

Поставщик должен отразить в руководстве по эксплуатации машины и (или) оборудования сведения об обязательных к использованию средствах индивидуальной защиты, которые позволяют предохранить работников от источников опасностей, связанных с остаточным риском. В качестве примера наиболее часто используемых средств индивидуальной защиты можно привести следующие: средства защиты органов слуха, защитные очки, маски, респираторы, перчатки, защитная одежда (например, защищающая от повышенной температуры, брызг химических веществ, порезов), каски.

Выбор надежных средств индивидуальной защиты и поддержание их в исправном состоянии очень важны для обеспечения их длительной эффективности. Не менее важно принуждать работников к их использованию. К вопросу выбора средств индивидуальной защиты следует подходить тщательно, учитывать предпочтения работников, а также соответствие этих средств требованиям по защите, удобству, долговечности при частом использовании, совместимости с приемами работы с машиной и (или) оборудованием и т. д.

Использование средств индивидуальной защиты позволяет исключить или ограничить нанесение вреда.

9.11 Стандартные методы работы

Поставщик должен отразить в руководстве (инструкции) по эксплуатации машины и (или) оборудования сведения о стандартных методах работы, которые необходимо применять пользователю в ходе эксплуатации и технического обслуживания машины и (или) оборудования, в том числе:

- планирование и организация работ;
- разъяснение/координация задач, права, ответственности;
- контроль;
- последовательность действий при блокировке;
- методы и приемы безопасной работы.

Примечание — Если снижение риска обеспечивается за счет организационных мер, важно обеспечить, чтобы эти меры тщательно и без исключения соблюдались.

Пример процесса оценки и снижения риска приведен в приложении В.

10 Итерационный процесс оценки риска

После принятия всех возможных защитных мер, обеспечивающих снижение риска, следует заново выполнить все этапы процесса оценки и убедиться в следующих фактах:

- не произошло никаких изменений в пределах эксплуатации машины и (или) оборудования;
- не появилось новых источников опасности или опасных ситуаций;
- риск, связанный с ранее идентифицированными опасностями, не увеличился;
- принятые защитные меры в достаточной степени обеспечивают снижение риска;
- дополнительные защитные меры не требуются;
- обеспечивается заданное снижение риска.

При проведении повторной оценки риска необходимо учитывать надежность, простоту применения, возможность отключения или обхода защитных мер, а также возможность поддержания их в соответствии с 8.3.5—8.3.7. Следует принять во внимание, что работники могут считать наличие защиты обычным явлением и оказаться неготовыми к ее выходу из строя. Особенно это касается блокировок и световых завес.

11 Документация по оценке риска (вероятности опасного события). Обоснование безопасности

Обоснование безопасности должно отражать проделанную работу и полученные в ходе нее результаты. В обоснование безопасности следует включать:

а) описание машины и (или) оборудования, в отношении которых проводили оценку (например, технические характеристики, ограничения, использование по назначению);

б) все сделанные в ходе оценки допущения (например, нагрузки, силы, запасы прочности);

в) идентифицированные источники опасности и опасные ситуации, рассмотренные в ходе оценки опасных событий (см. раздел 7);

г) информацию, на основании которой производили расчет степени риска (вероятности критического отказа) (см. 5.2.4):

1) использованные источники данных и данные (например, имевшие место несчастные случаи, опыт, полученный при снижении риска (вероятности критического отказа), связанного с аналогичными машинами и (или) оборудованием;

2) погрешности использованных данных и их влияние на результаты оценки риска (вероятности критического отказа);

д) цели снижения риска (вероятности критического отказа), критерии выбора защитных мер, стандарты и другие нормативные документы, требования которых при этом учитывали;

е) защитные меры, принятые для исключения идентифицированных опасностей или для снижения риска (вероятности критического отказа);

ж) остаточный риск (опасности), связанный с машиной и (или) оборудованием;

и) результаты оценки риска (вероятности опасного события) (см. рисунки 1 и 2);

к) любые формы, заполненные в ходе оценки.

Необходимо хранить все записи, сделанные во время оценки риска (вероятности критического отказа). Не следует путать эти записи с документацией о порядке работы с машиной и (или) оборудованием, поставляемой поставщиком пользователю. Однако сведения об оценке риска (вероятности критического отказа) могут оказаться полезной справочной информацией при составлении этой документации.

Тщательное оформление документации по оценке риска (вероятности критического отказа) важно для последующей оценки принятых в ее ходе решений. Такая проверка, проведение которой может потребоваться в дальнейшем, может быть осуществлена лицами, не принимавшими участия в оценке риска (вероятности критического отказа). В документации должны быть отражены результаты оценки. В ней должны содержаться описания методов и способов оценки, а также копии заполненных протоколов. Кроме того, к документации полезно приложить рисунки (фотографии, схемы, чертежи и т. д.), поясняющие расположение опасных зон, источников опасности и применяемых защитных мер.

После реализации описанных в документации защитных мер следует включить в нее сведения, необходимые для поддержания их эффективности (например, техническое обслуживание, периодический осмотр пользователем).

12 Оценка обеспечения допустимой вероятности наступления опасного события на этапе изготовления

12.1 Общие положения

12.1.1 Изготовитель обязан обеспечить соответствие машины и (или) оборудования требованиям проектной (конструкторской) документации, в том числе требованиям безотказности.

Предварительный контроль возможности обеспечить соответствие машины и (или) оборудования требованиям можно осуществлять путем оценки применяемого при изготовлении технологического процесса (технологических и контрольных операций).

12.1.2 Оценка обеспечения технологическим процессом требований к безотказности основана на анализе технологических операций, в процессе которых могут иметь место несоответствия (дефекты), приводящие к критическому отказу изделия, и контрольных операций, при выполнении которых эти несоответствия (дефекты) могут быть обнаружены.

В качестве основных причин появления несоответствий (дефектов) рассматриваются сбои в работе оборудования и ошибки, допущенные персоналом при выполнении технологических и контрольных операций.

12.1.3 Работы по оценке возможности обеспечения технологическим процессом заданных требований к безотказности изделия следует проводить по программе, которая должна предусматривать:

1) АВПКО исходя их условий эксплуатации изделия, с выделением критических отказов, вероятность невозникновения которых (вероятность безотказной работы изделия) должна быть обеспечена технологическим процессом предприятия-изготовителя. АВПКО проводят в соответствии с ГОСТ 27.310;

2) анализ конструкции изделия;

3) анализ технологического процесса с выделением технологических и контрольных операций, влияющих на возможное проявление несоответствий (дефектов) изделия, являющихся причиной возникновения выделенных критических отказов;

4) анализ статистической информации о браке в части несоответствий (дефектов), выявленном в процессе производства и по данным эксплуатационной статистики;

5) проведение расчета ВБР изделия, обеспечиваемой технологическим процессом изготовления;

6) проведение сравнительного анализа заданных требований к показателям безотказности изделия и расчетных показателей безотказности, обеспечиваемых технологическим процессом изготовления;

7) выдачу заключения по результатам работ с выводом о возможности обеспечения требований к безотказности изделий технологическим процессом изготовления и разработкой при необходимости рекомендаций по внесению необходимых изменений в технологический процесс и конструкцию изделия в целях повышения его безотказности.

12.2 Анализ видов, последствий и критичности отказов изделия

12.2.1 Перечень возможных отказов изделия с выделением критических отказов должен быть установлен в технических условиях и эксплуатационной документации на изделие. При его отсутствии такой перечень должен быть установлен до проведения работ по АВПКО на основании анализа технической документации на изделие (технических условий, руководства по эксплуатации).

12.2.2 Перечень критических отказов уточняют совместно с заказчиком изделия и (или) проектантом системы, в составе которой предусмотрена эксплуатация изделия, исходя из конкретных условий эксплуатации и возможных последствий отказа.

12.3 Анализ конструкции изделия

12.3.1 Цели анализа конструкции изделия.

- составление схемы безотказной работы изделия с выделением деталей и узлов, несоответствия (дефекты) которых могут привести к критическому отказу изделия;
- определение перечня технологических и контрольных операций, необходимых для изготовления изделия.

12.3.2 Анализ проводят по конструкторской документации на изделие, перечень которой установлен ГОСТ 2.102. Анализу подвергают:

- сборочные чертежи;
- чертежи деталей;
- спецификации;
- ведомость покупных изделий;
- технические условия;
- программу и методику испытаний,
- эксплуатационную документацию (паспорт и руководство по эксплуатации).

12.4 Анализ технологического процесса изготовления

12.4.1 Анализу подвергают комплект документов технологического процесса изготовления изделия (маршрутно-операционное описание технологического процесса).

12.4.2 В целях анализа технологический процесс изготовления представляют в виде обобщенной блок-схемы, основными элементами которой являются:

- входной контроль материалов и комплектующих (покупных изделий);
- операции изготовления и сборки;
- операции контроля;
- приемо-сдаточные испытания.

12.4.3 В результате анализа технологического процесса выделяют технологические и контрольные операции, ошибки в которых могут привести к несоответствиям (дефектам), вызывающим критические отказы при эксплуатации изделий.

К основным технологическим причинам таких несоответствий (дефектов) относятся:

а) ошибки в материале при выполнении технологической операции (перепутывание материалов);

б) несоответствие фактических свойств и состава материалов деталей и комплектующих свойствам, указанным в сертификатах;

в) ошибки при входном контроле материалов для основных деталей, сварочных материалов и комплектующих изделий;

г) нарушение режимов технологических процессов и операций;

д) ошибки при контроле металла основных деталей и сварных швов в процессе изготовления;

е) ошибки в геометрических размерах деталей и узлов, обеспечивающих их требуемую прочность и безотказное функционирование;

ж) скрытые дефекты деталей (материалов деталей) и сварных швов;

и) ошибки в сборке;

к) ошибки при проведении всех видов операционного контроля и испытаний;

л) потеря технологической точности оборудования.

12.4.4 Анализ технологических и контрольных операций следует проводить в течение всего периода их применения изготовителем, начиная с момента, после которого корректировку этих операций в части режимов, оборудования и квалификации персонала не проводили.

12.4.5 Для вновь выпускаемых изделий оценка технологических и контрольных операций, задействованных в данном технологическом процессе, следует проводить по результатам применения этих операций в других технологических процессах при соответствии режимов, оборудования и квалификации персонала при их выполнении.

12.4.6 В случае, когда изготовленных деталей для оценки технологической и контрольной операции в соответствии с [2] недостаточно, безотказность, обеспечиваемую технологическим процессом на этих операциях, следует определять путем оценки применяемой контрольной операции, выполняемой на эталонных образцах, аналогично с 12.6.3.4.

12.5 Анализ информации о браке

12.5.1 Анализу подвергают следующую информацию о браке:

- рекламации потребителей;

- данные о возвратах отдела технического контроля (ОТК) по всем технологическим операциям изготовления и операциям контроля, ошибки в которых могут привести к несоответствиям (дефектам), вызывающим критические отказы;

- результаты приемо-сдаточных испытаний.

12.5.2 Информацию о браке, перечисленную в 6.4.1, предоставляют ОТК предприятия — изготовителя изделия.

12.5.3 По результатам анализа информации о браке выделяют рекламации, связанные с критическим отказом изделия, и сведения о бракованных деталях (возврат ОТК), несоответствия (дефекты) которых могут вызывать критические отказы при эксплуатации изделия или привести к отрицательным результатам приемо-сдаточных испытаний.

12.6 Расчет вероятности безотказной работы изделия по отношению к критическим отказам, обеспечиваемой технологическим процессом

12.6.1 Общие положения

12.6.1.1 Расчет ВБР изделия по отношению к критическим отказам, обеспечиваемой технологическим процессом (далее — расчет), проводят по результатам анализа технологического процесса изготовления изделия и информации о рекламациях.

12.6.1.2 В расчете учитывают критические отказы, возникновение которых связанно с несовершенством или нарушением установленного технологического процесса (производственные отказы).

При определении безотказности изделия в расчете не рассматривают:

- отказы, возникшие по причинам, связанным с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм конструирования (конструктивные отказы), с несовершенством технологического процесса (технологические отказы) в случае принятия мер по их устранению, а также отказы, возникшие по причинам, связанным с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации (эксплуатационные отказы);

- отказы, обусловленные естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости материала изделия при соблюдении всех установленных правил и/или норм проектирования, изготовления и эксплуатации (деградационные отказы), в период заданного ресурса (заданной наработки).

12.6.1.3 Безотказность изделия, обеспечиваемая при изготовлении (производственная безотказность), определяется вероятностью того, что в течение заданного ресурса (заданной наработки) не произойдет отказ изделия из-за нарушений, допущенных в процессе его изготовления.

12.6.1.4 Безотказность изделия, обеспечиваемую технологическим процессом изготовления $P_И$ определяемую безотказностью каждой детали изделия, обеспечиваемой при изготовлении, рассчитывают по формуле

$$P_{И} = \prod_{i=1}^{n} P_{Дi}, \quad (1)$$

где n — количество деталей (узлов, материалов), изготовление и контроль которых определяют безотказность, обеспечиваемую при исполнении технологического процесса;

i — порядковый номер (индекс) детали (узла, материала), изготовление и контроль которых определяют безотказность, обеспечиваемую при исполнении технологического процесса, $i = 1,\ldots, n$;

$P_{Дi}$ — безотказность каждой i-й детали (узла, материала), обеспечиваемая технологическим процессом ее изготовления.

При расчете по формуле (1) предполагается, что отказы деталей рассматриваются как независимые события и что отказ каждой рассматриваемой детали приводит к отказу изделия.

12.6.1.5 Безотказность детали, обеспечиваемую технологическим процессом изготовления, определяемую безотказностью при исполнении каждой j-й операции технологического процесса изготовления детали (технологической операции изготовления и контрольной операции после нее) (P_{Oj}), рассчитывают по формуле

$$P_{Дi} = \prod_{j=1}^{m} P_{Oj}, \quad (2)$$

где j — порядковый номер (индекс) операции технологического процесса, $j = 1,\ldots, m$;

m — число операций технологического процесса.

В расчете по формуле (2) предполагается, что ошибки при выполнении операций технологического процесса изготовления деталей рассматриваются как независимые события и что ошибка при выполнении каждой рассматриваемой операции может приводить к критическому дефекту детали.

12.6.1.6 Безотказность, обеспечиваемую при исполнении j-й операции технологического процесса, определяемую вероятностью того, что после j-й технологической операции изготовления в изготовленной партии нет бракованных единиц, и вероятностью того, что после контроля j-й операции изготовления бракованная деталь будет обнаружена ОТК, рассчитывают по формуле

$$P_{Oj} = 1 - (1 - P_{nj})(1 - P_{kj}), \quad (3)$$

где P_{kj} — вероятность того, что после контроля j-й операции изготовления бракованная деталь будет обнаружена ОТК (безотказность, обеспечиваемая контрольной операцией);

P_{nj} — вероятность того, что после j-й технологической операции изготовления в изготовленной партии нет бракованных единиц (безотказность, обеспечиваемая технологической операцией).

12.6.2 Расчет безотказности, обеспечиваемой технологической операцией

12.6.2.1 Расчет безотказности, обеспечиваемой в результате выполнения технологической операции (P_{nj}), представляет собой расчет вероятности невозникновения несоответствий (дефектов) детали, узла или сборки (далее — детали) в изготовленной партии, приводящих к критическому отказу изделия (далее — критический дефект).

12.6.2.2 Безотказность рассчитывают на основе анализа критических дефектов, приводящих к критическому отказу, обусловленных выполнением конкретно рассматриваемой технологической операции, по формуле

$$P_{nj} = 1 - (N_{kj} + N_{pj})/N_{изгj}, \quad (4)$$

где N_{kj} — число деталей с критическим дефектом, обусловленным выполнением j-й технологической операции и обнаруженным операцией контроля (техническим контролем), — брак по критическим дефектам;

N_{pj} — число деталей с критическим дефектом, обусловленным выполнением j-й технологической операции, не обнаруженным операцией контроля (техническим контролем) и обнаруженным при эксплуатации (количество деталей с критическим дефектом, возникшим в результате j-й операции, указанным в рекламациях);

$N_{изгj}$ — общее число деталей, обработанных исполнителем j-й операции.

12.6.2.3 В случае отсутствия рекламаций и сведений об отбраковке изготовлявшихся на данной операции деталей по причине критических дефектов, обусловленных выполнением данной конкретно рассматриваемой технологической операции, оценку этой операции следует производить с учетом доверительной вероятности и минимально необходимого числа деталей в соответствии с [2], по формуле

$$P_{пj} = e^{-\ln(1 - q)/N_{изj}}, \quad (5)$$

где q — доверительная вероятность (для деталей, влияющих на возможность возникновения критического отказа, принимают $q \geq 0{,}95$).

12.6.3 Расчет безотказности, обеспечиваемой контрольной операцией

12.6.3.1 Безотказность, обеспечиваемую контрольной операцией, определяют как вероятность обнаружения в результате выполнении данной контрольной операции критических дефектов деталей, которые могут возникнуть при выполнении контролируемой технологической операции.

12.6.3.2 Безотказность, обеспечиваемую контрольной операцией (P_{kj}), рассчитывают на основе анализа критических дефектов, обнаруженных в результате выполнения данной контрольной операции, последующих контрольных операций, а также анализа критических дефектов, указанных в поступивших актах рекламаций и обусловленных выполнением конкретно рассматриваемой технологической операции, по формуле

$$P_{kj} = 1 - N_{pj} /(N_{kj} + N_{pj} + N_{пkj}), \quad (6)$$

где N_{pj} — число деталей с дефектом, обусловленным выполнением j-й технологической операции, не обнаруженным операцией контроля (техническим контролем) и обнаруженным при эксплуатации (количество деталей с дефектом в результате j-й технологической операции, указанным в рекламациях);

N_{kj} — число деталей с критическим дефектом, обусловленным выполнением j-й технологической операции и обнаруженным операцией контроля (техническим контролем), — обнаруженный брак по критическим дефектам;

$N_{пkj}$ — число деталей с дефектом, обусловленным выполнением j-й технологической операции, не обнаруженным данной операцией контроля и обнаруженным последующей операцией контроля.

12.6.3.3 При наличии сведений по результатам технического контроля об отбраковке деталей с критическими несоответствиями (дефектами), обусловленными выполнением j-й операции, при отсутствии рекламаций и сведений об отбраковке деталей при последующих операциях контроля, а также при условии, что имеются положительные результаты приемо-сдаточных испытаний ранее выпущенных изделий, в которых задействована данная деталь, принимают, что оценка безотказности, обеспечиваемая данной контрольной операцией, близка к единице.

12.6.3.4 В случае, когда по результатам технического контроля деталей с критическими несоответствиями (дефектами), обусловленными выполнением j-й операции, не обнаружено, отсутствуют рекламации и сведения об отбраковке деталей при последующих операциях контроля или деталей, в соответствии с [2] недостаточно, оценку контрольной операции следует производить по стандартным образцам дефектных деталей, используемым при поверке контролирующего оборудования. В этом случае формула (6) принимает вид

$$P_{kj} = N_{kj} / N_{эj}, \quad (7)$$

где $N_{эj}$ — число стандартных образцов дефектных деталей, использованных при поверке контролирующего оборудования.

12.7 Сравнительный анализ требуемых показателей безотказности изделия и показателей безотказности, обеспечиваемых технологическим процессом изготовления

12.7.1 Для оценки возможности обеспечения технологическим процессом заданных требований к показателям безотказности изделия проводят сравнительный анализ требуемых показателей безотказности изделия и показателей безотказности, обеспечиваемых технологическим процессом изготовления изделия, полученных в результате расчета.

В случае, когда расчетное значение ВБР изделия ($P_И$) не менее значения ВБР, указанного в ТУ на изделие, безотказность изделия на этапе изготовления считается обеспеченной.

В случае, когда расчетное значение ВБР изделия меньше значения ВБР, указанного в ТУ на изделие, безотказность изделия на этапе изготовления считают необеспеченной, и изготовителю в зависимости от результатов анализа причин возникновения несоответствий (дефектов) необходимо принять меры по совершенствованию конструкции изделия, технологических операций изготовления и (или) системы контроля.

12.7.2 Пример оформления результата расчета вероятности безотказной работы изделия, обеспечиваемой технологическим процессом изготовления, приведен в А.9 (приложение А).

Приложение А
(справочное)

Примеры методов для некоторых этапов процесса оценки риска

А.1 Общие сведения

В настоящем приложении содержатся примеры методов, которые могут применяться во время оценки. Они не являются единственными методами проведения оценки, и их упоминание в стандарте не говорит о том, что они утверждены или рекомендованы к применению в большей степени, чем другие методы.

Эти примеры не охватывают все возможные ситуации, так как в реальных условиях они различаются даже на отдельно взятых объектах. Решение о выборе того или иного метода принимается сотрудниками, ответственными за проведение оценки, на основании множества различных факторов и в каждом случае может привести к различным результатам.

Поэтому эти примеры служат лишь иллюстрацией, призванной показать пользователю, как может проходить идентификация реальной опасности либо оценка при помощи того или иного из предлагаемых методов.

Ниже приведены следующие примеры:

а) идентификация опасностей с применением форм (см. А.2);

б) оценка риска с помощью матрицы рисков (см. А.3);

в) оценка риска с помощью графы рисков (см. А.4);

г) оценка риска с помощью балловой системы (см. А.5);

д) количественный расчет риска (см. А.6);

е) оценка риска с помощью комбинированных методов (см. А.7);

ж) расчет вероятности возникновения опасного события, когда его последствия неизвестны (см. А.8);

и) оценка возможности обеспечения технологическим процессом изготовления заданных требований к безотказности изделия (см. А.9).

В некоторых случаях для оценки риска, связанного с долговременным (например, шума, вредных материалов и веществ, вибрации, радиации или эргономических факторов) или чрезвычайно интенсивным воздействием опасности (например, пожар или взрыв), представляется целесообразным использовать специальные способы расчета.

Оценка не является предметом для научных изысканий: имеющиеся ресурсы лучше направить на снижение риска, а не на оптимизацию результатов расчета его степени.

Примечание — Следующие примеры представляют собой иллюстрации, демонстрирующие практическое применение указанных методов. Их нельзя рассматривать как руководство пользователя по применению этих методов.

А.2 Идентификация опасностей с применением форм

А.2.1 Общие сведения

В настоящем разделе содержится пример применения метода идентификации опасностей (см. раздел 7) с использованием контрольных списков опасностей, опасных ситуаций и опасных событий, перечисленных в приложении Б.

Такие контрольные списки нельзя считать полными: они представляют собой лишь отправную точку при идентификации опасностей. Поэтому для того чтобы обеспечить более полную идентификацию опасностей, следует применять и другие источники, в том числе нормативные акты, стандарты, а также технические знания.

В дополнение к данному методу можно использовать, к примеру, мозговой штурм, сравнение с аналогичными машинами и (или) оборудованием, анализ данных о несчастных случаях и (или) инцидентах с последними.

Эффективность данного метода напрямую зависит от полноты и детальности информации, собранной для оценки (см. 5.2.4), а также от того, насколько точно определены пределы эксплуатации машины и (или) оборудования (см. раздел 6).

Данный метод можно применять на любом этапе жизненного цикла машины и (или) оборудования.

А.2.2 Описание метода

С учетом пределов эксплуатации машины и (или) оборудования, на первом этапе необходимо определить границы анализируемой системы, например этап (этапы) жизненного цикла, часть (части) и (или) функцию (функции) машины (см. таблицу А.1).

На втором этапе необходимо определить задачи, которые будут выполнять люди, взаимодействующие с машиной и (или) оборудованием, либо находящиеся рядом с ними, либо операции, которые будут выполняться машиной и (или) оборудованием, для каждого выбранного этапа жизненного цикла. При этом можно использовать список задач, представленный в таблице Б.2 (приложение Б).

На третьем этапе для каждой задачи или операции в каждой отдельной опасной зоне определяют наиболее важные источники опасности, а также возможные сценарии несчастных случаев или другого вреда. Для этого мож-

Таблица А.1 — Пример формы идентификации опасностей

Идентификация опасностей			
Машина (идентификация)		Метод	
Источники (например, предварительная конструкторская документация, техническая записка, конструкторская записка)		Аналитик	
		Текущая версия	
Границы (например, этап жизненного цикла, деталь/функция машины)		Дата	

Поз	Опасная зона	Задача/операция (см таблицу Б.2)	Сценарий несчастного случая		
			Опасность (см. таблицы Б.1А и Б.1Б)	Опасная ситуация (см. таблицу Б.2)	Опасное событие (см. таблицу Б.3)
1					
2					
3					
4					
5					

но использовать либо нисходящий подход, когда исследование начинают с потенциальных последствий (вреда), либо восходящий подход, когда отправной точкой служит источник опасности. При этом при описании источников опасности следует использовать таблицы Б.1А и (или) Б.1Б (приложение Б), при описании опасных ситуаций — таблицу Б.2 (приложение Б), а при описании опасных событий — таблицу Б.3 (приложение Б).

А.2.3 Документация

Для записи результатов идентификации опасностей с помощью данного метода можно использовать форму, представленную в таблицах Б.1А и Б.1Б (приложение Б).

А.2.4 Порядок применения

А.2.4.1 Общие сведения

Ниже приведен пример применения метода, описанного в А.2.2 для идентификации опасностей, связанных с дыропробивным прессом (рисунок А.1), управление которым осуществляется с помощью педали, а подачу и извлечение заготовок производят вручную. Рассматривается ранний этап проектирования машины.

Рисунок А.1 — Опасная зона дыропробивного пресса (без каких-либо защитных мер)

А.2.4.2 Границы анализируемой системы

В данном примере будут идентифицированы только опасности, имеющие место во время эксплуатации машины и сконцентрированные в ее опасной зоне. Другие этапы жизненного цикла машины, в том числе сборку, настройку, техническое обслуживание и диагностику, не рассматривают (см. таблицу Б.2 приложения Б).

А.2.4.3 Выполняемые задачи/операции

Во время эксплуатации дыропробивного пресса будут выполняться следующие задачи:

а) ручная загрузка и выгрузка заготовок;

б) позиционирование заготовок;

в) удерживание заготовок во время штамповки;

г) незначительные вмешательства в работу машины (удаление мусора, смазка инструмента).

А.2.4.4 Важные источники опасности и сценарии несчастных случаев

Для каждой из определенных задач следует проверить все возможные источники опасности и идентифицировать наиболее важные из них, используя графу «Источник» таблиц Б.1А и Б.1Б и применяя восходящий подход. Для каждой из этих опасностей следует рассмотреть все возможные сочетания опасных ситуаций и опасных событий с помощью списков из таблиц Б.2 и Б.3 (приложение Б).

А.2.4.5 Результаты идентификации опасности

Результаты первого этапа исследования сведены в таблицу А.2.

Таблица А.2 — Пример заполненной формы идентификации опасностей

Идентификация опасностей			
Машина	Дыропробивной пресс	Метод	Контрольные списки по приложению Б
Источники	Предварительная конструкторская документация	Аналитик	Ф.И.О.
		Текущая версия	1
Границы	Эксплуатация	Дата	«___»_____ 20___ г.
	Штамповка		

Поз	Опасная зона	Задача/операция (таблица Б.2)	Сценарий несчастного случая		
			Опасность (таблицы Б.1А и Б.1Б)	Опасная ситуация (таблица Б.2)	Опасное событие (таблица Б.3)
1	Зона штамповки	Загрузка, разгрузка и позиционирование заготовок вручную	Падение объектов (заготовки) *Раздавливание* (стопы или пальцев)	Удерживание тяжелых заготовок обеими руками	Падение заготовки
2			Острые кромки (заготовка) *Порез*	Удерживание заготовок с острыми кромками обеими руками	Контакт с острыми кромками или углами заготовки
3		Удерживание заготовки обеими руками во время штамповки	Движущиеся части (перемещение штампа вниз и вверх, перемещение заготовки вверх) *Раздавливание, потеря конечностей, прокол*	Работа вблизи движущихся частей	Возможность контакта с движущимися частями из-за отсутствия защитных ограждений или устройств
4			Движущиеся части (подъем отдельных частей инструментов или заготовок) *Удар*	Оператор или другие лица подвергаются опасности при подъеме этих частей	Разрыв инструмента или заготовки (по ряду причин, в том числе из-за неправильного выбора штампа, его усталости, старения или растрескивания, неправильного выбора материала заготовки)

Окончание таблицы А.2

Идентификация опасностей			
Машина	Дыропробивной пресс	Метод	Контрольные списки по приложению Б
Источники	Предварительная конструкторская документация	Аналитик	Ф.И.О.
		Текущая версия	1
Границы	Эксплуатация	Дата	«___»_____ 20___ г.
	Штамповка		

Поз	Опасная зона	Задача/операция (таблица Б.2)	Сценарий несчастного случая		
			Опасность (таблицы Б.1А и Б.1Б)	Опасная ситуация (таблица Б.2)	Опасное событие (таблица Б.3)
5			Шумный производственный процесс (звуки ударов) *Дискомфорт*	Оператор или другие лица подвергаются воздействию шума	Высокий уровень шума может быть опасен
6			В случае неисправности детали машины могут оказаться под напряжением *Поражение электрическим током*	Эксплуатация машины под напряжением	Косвенный контакт
7		Небольшие вмешательства в работу машины (удаление отходов, смазка инструмента)	Движущиеся части (перемещение штампа вниз и вверх, перемещение заготовки вверх) *Раздавливание, потеря конечностей, прокол*	Работа при включенном питании исполнительных механизмов (цилиндр, инструмент)	Ошибка человека во время работы (применение тряпки вместо контейнера с длинным горлышком для смазки) и непреднамеренный или неожиданный запуск

А.3 Оценка риска с помощью матрицы рисков

А.3.1 Общие сведения

Матрицу рисков используют для оценки рисков, связанных с той или иной опасностью (см. разделы 8 и 9), после завершения их идентификации (см. раздел 7). Этот способ можно применять для оценки риска машин и оборудования во многих отраслях промышленности.

Основное применение матриц — выявление неприемлемо большого риска с последующей концентрацией на нем усилий по снижению. Матрицы позволяют ранжировать и группировать риски по уровням, что позволяет принимать решения об их допустимости.

Матрица рисков — простой и эффективный метод определения уровня риска той или иной опасности. Однако этот подход является субъективным, его результат зависит от здравого смысла лица, выполняющего оценку. Поэтому он лучше всего подходит для группы лиц, имеющих знания и опыт выполнения соответствующих задач на исследуемой машине/оборудовании/установке (см. 5.2).

Достоинства матриц рисков заключаются в простоте и быстроте оценки — как при обучении, так и при реальной работе. Однако в силу своей субъективности они не обеспечивают значительной точности и воспроизводимости результатов. При необходимости более строгой оценки следует воспользоваться более точными методами, хотя такие методы обычно требуют больших усилий на обучение и анализ. Различными могут оказаться и защитные меры, которые необходимо будет применить в соответствии с результатами оценки.

А.3.2 Описание метода

А.3.2.1 Общие сведения

Оценку риска с помощью матриц обычно проводят в четыре этапа.

А.3.2.2 Выбор матрицы риска

Разработано множество вариантов матриц риска. В таблицах А.3 и А.4 приведены два примера матриц, отличающихся количеством градаций уровня риска: в первом примере их четыре, а во втором — шесть. На практике количество градаций составляет от трех до десяти, наиболее часто используют четыре или пять.

Таблица А.3 — Расчет риска с помощью матрицы (четыре градации уровня риска)

Вероятность нанесения вреда	Степень тяжести вреда			
	Катастрофическая	Тяжелая	Средняя	Легкая
Очень вероятно	Высокий	Высокий	Высокий	Средний
Вероятно	Высокий	Высокий	Средний	Низкий
Маловероятно	Средний	Средний	Низкий	Пренебрежимый
Невероятно	Низкий	Низкий	Пренебрежимый	Пренебрежимый

Таблица А.4 — Расчет риска при помощи матрицы (шесть градаций уровня риска)

Частота	Последствия			
	Катастрофические	Критические	Предельные	Пренебрежимые
Часто	I	I	I	II
Вероятно	I	I	II	III
Иногда	I	II	III	III
Редко	II	III	III	IV
Маловероятно	III	III	IV	IV
Невероятно	IV	IV	IV	IV

А.3.2.3 Оценка степени тяжести вреда

Для каждой опасности или опасной ситуации (задачи) необходимо оценить степень тяжести вреда или последствий. Наибольшую пользу при этом может принести анализ статистических данных. Чаще всего степень тяжести ассоциируется с травматизмом, однако могут учитываться и другие факторы, включая следующие:

- число смертельных исходов, травм или заболеваний;
- ценность поврежденной собственности или оборудования;
- продолжительность снижения производительности;
- масштабы ущерба для объектов и (или) окружающей среды;
- другие факторы.

Для оценки степени тяжести вреда можно использовать выбранную матрицу риска. В качестве примера можно привести градацию степени тяжести вреда по таблице А.3:

- катастрофическая — смерть, инвалидность или болезнь (без возможности возврата к работе), невосстанавливаемые материальные потери;
- тяжелая — тяжелая травма или болезнь (с возможностью возврата к работе), значительный материальный ущерб;

- средняя — существенная травма или болезнь, требующая более серьезного лечения, чем первая помощь (возможен возврат к той же работе), существенный материальный ущерб;
- легкая — отсутствие травмы либо незначительная травма, для лечения которой достаточно первой помощи (отсутствие простоев или небольшая потеря рабочего времени), несущественный материальный ущерб.

При оценке степени тяжести наибольшее внимание следует уделять наихудшим вероятным, а не возможным последствиям.

А.3.2.4 Оценка вероятности

Для каждой опасности или опасной ситуации (задачи) необходимо оценить вероятность нанесения вреда. За исключением редких случаев наличия эмпирических данных процесс выбора вероятности нанесения вреда носит субъективный характер. По этой причине значительную пользу может принести мозговой штурм с участием обладающих необходимыми знаниями лиц.

При оценке вероятности следует принимать во внимание наиболее правдоподобные показатели. При этом необходимо учесть:

- частоту и продолжительность воздействия источника опасности;
- персонал, выполняющий задачу;
- статистические данные по эксплуатации машины и (или) оборудования;
- условия окружающей среды на рабочем месте;
- человеческий фактор;
- надежность защитных функций;
- возможность отключения или обхода защитных мер;
- возможность поддержания работоспособности защитных мер;
- возможность избежать вреда.

Как и степень тяжести вреда, вероятность его нанесения может быть оценена с использованием различных градаций. При этом в описании некоторых методов (как в таблице А.4) отсутствуют какие-либо комментарии, кроме названий уровней. В других матрицах (как в таблице А.3) приводят также дополнительные комментарии:

- очень вероятно — вред практически неизбежен;
- вероятно — вред может быть нанесен;
- маловероятно — вред, скорее всего, не будет нанесен;
- невероятно — вероятность нанесения вреда близка к нулю.

Различные методы предполагают разные подходы к оценке вероятности. В одних случаях вероятность выражается числовым значением от 0 до 1, в других — качественной характеристикой. Некоторые методы допускают использование как качественных, так и количественных определений.

Количественная оценка должна быть связана с каким-либо интервалом, например с единицей времени, количеством выполненных действий, наступивших событий, изготовленных единиц продукции либо с жизненным циклом установки, оборудования, процесса или продукта. В качестве единицы времени может быть выбрана продолжительность срока службы машины.

А.3.2.5 Вычисление уровня риска

После оценки степени тяжести вреда и вероятности его нанесения с помощью выбранной матрицы риска можно оценить начальный уровень риска. Матрицы, устанавливающие соответствия между факторами и уровнями риска, показаны в таблицах А.3 и А.4.

Используя в качестве примера таблицу А.3, можно установить, что степени тяжести вреда «Тяжелая» и уровню вероятности «Вероятно» соответствует уровень риска «Высокий». Различные матрицы по-разному устанавливают соответствие между факторами. Результат оценки обычно представляет собой ряд определений от «низкий» до «высокий». Поскольку процесс оценки риска чаще всего носит субъективный характер, полученные уровни риска также будут субъективны.

Во многих случаях результаты оценки риска напрямую зависят от культурных, локальных и (или) временных факторов. Поэтому выполнение этой задачи обычно поручают пользователю.

А.3.3 Применение метода

А.3.3.1 Описание примера деревообрабатывающего станка

На рисунке А.2 показана операция пиления на деревообрабатывающем станке. Работник снимает поступающие для обработки куски дерева с конвейера слева, а готовые доски выгружает на конвейер справа. Пила имеет ножное управление.

Рисунок А.2 — Операция пиления на деревообрабатывающем станке

А.3.3.2 Результаты оценки риска

В первых двух графах таблицы А.5 перечислены задачи и опасности. Начальный и остаточный уровень риска оценивают с помощью матрицы, приведенной в таблице А.3.

Таблица А.5 — Оценка риска при работе на деревообрабатывающем станке

Пользователь/ задача	Опасность	Начальная оценка		Метод снижения риска	Остаточный риск		Статус
		Тяжесть/вероятность	Уровень риска		Тяжесть/ вероятность	Уровень риска	
Оператор/ выбор доски с входного конвейера	Механическая: деревянные щепки	Легкая/ очень вероятно	Средний	Перчатки	Легкая/ маловероятно	Пренебрежимый	Завершено
	Эргономическая: повторение	Средняя/вероятно	Средний	Ротация заданий, плановый отдых, стандартные процедуры	Легкая/ маловероятно	Низкий	Не завершено
	Эргономическая: подъем/нагибание перекручивание	Средняя/вероятно	Средний	Расположение рабочей станции на высоте и расстоянии, исключающих необходимость тянуться, ротация заданий	Средняя/ вероятно	Средний	Завершено
Оператор/ пиление	Механическая: порез вращающимся ножом или потеря конечности	Катастрофическая/ вероятно	Высокий	Неподвижные кожухи и барьеры	Катастрофическая/ невероятно	Низкий	Завершено
	Механическая: деревянные щепки	Легкая/ очень вероятно	Средний	Перчатки	Легкая/ маловероятно	Пренебрежимый	Завершено
	Механическая: летучие частицы	Средняя/вероятно	Средний	Защитные очки	Средняя/ невероятно	Пренебрежимый	Завершено
	Эргономическая: повторение	Средняя/вероятно	Средний	Ротация заданий, плановый отдых, стандартные процедуры	Легкая/ маловероятно	Низкий	Не завершено
	Шум: уровень шума выше 86 дБА	Тяжелая/ очень вероятно	Высокий	Защита органов слуха	Тяжелая/ маловероятно	Средний	Не завершено
Оператор/ выгрузка досок на выходной конвейер	Механическая: деревянные щепки	Легкая/ очень вероятно	Средний	Перчатки	Легкая/ маловероятно	Пренебрежимый	Завершено
	Эргономическая: работа с нагрузками	Легкая/ невероятно	Пренебрежимый	Благодаря направляющей, нагрузки, связанные с подъемом, минимальны. Оператор только передвигает доски	Легкая/ маловероятно	Пренебрежимый	Завершено

А.3.3.3 Комментарии

Как видно из этого примера, матрицы риска позволяют быстро и эффективно оценить риск. При этом оценка может производиться как для отдельной задачи, выполняемой с конкретной машиной, так и для нескольких задач в пределах всего производственного процесса. Оценке могут подвергаться как потребительские, так и промышленные товары.

Наиболее эффективным подходом для отдельной компании является выбор метода оценки, который наилучшим образом соответствует ее организационной структуре и процессам проектирования. При этом в качестве отправной точки следует использовать промышленные стандарты и рекомендации. После того как такой метод оценки будет выбран, проверен и надлежащим образом интегрирован в бизнес-процесс, он станет «единственно правильным».

А.4 Оценка риска с помощью графов риска

А.4.1 Общие сведения

В данном примере рассматривается идентификация опасностей и расчет степени риска при помощи графов риска.

При этом здесь не ставится цель подробно разъяснить порядок заполнения форм или описать, как был разработан этот метод оценки. Для того чтобы в достаточной степени овладеть данным методом, требуется обучение.

А.4.2 Описание метода

Перед началом оценки риска с помощью графов рисков требуется идентифицировать соответствующие опасности, опасные ситуации и события, а также возможный вред в соответствии с разделом 7. Затем при помощи графа, показанного на рисунке А.3, вычисляют показатель степени риска в зависимости от следующих четырех параметров, соответствующих четырем составляющим риска, определенным в 8.2.1, и имеющих определенные пределы.

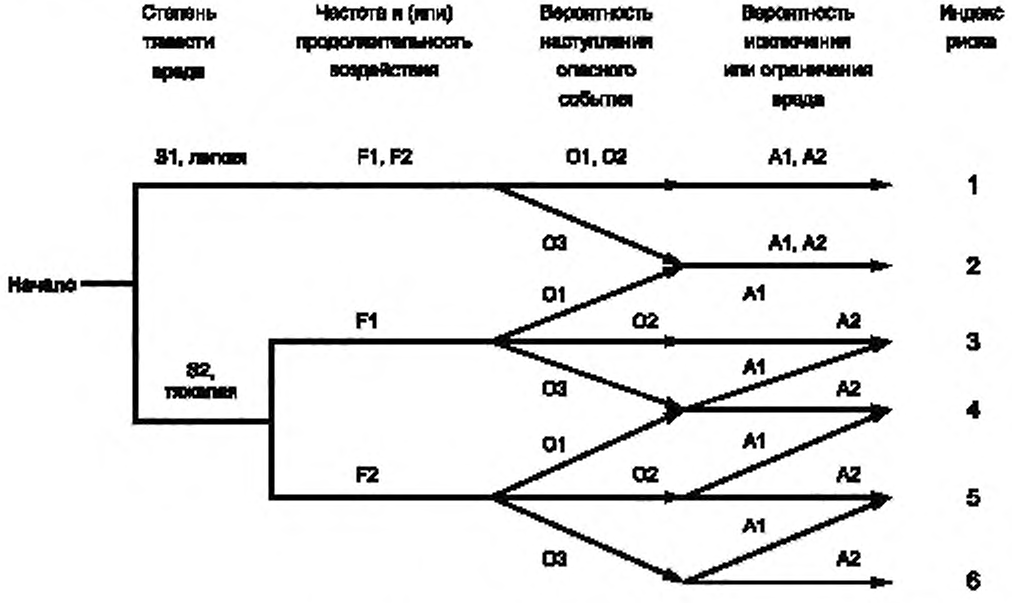


Рисунок А.3 — Граф рисков для оценки риска

- Степень тяжести вреда S

1) S1 — незначительные травмы (обычно с обратимыми последствиями). Например царапины, порезы, ушибы, небольшие раны, требующие оказания первой помощи;

2) S2 — тяжелые травмы (обычно с необратимыми последствиями, включая смерть). Например переломы, раздавливания или потери конечностей, разрывы мягких тканей, тяжелые раны, требующие зашивания, тяжелые повреждения опорно-двигательного аппарата, смертельные случаи.

- Частота и (или) продолжительность воздействия F

1) F1 — не более двух раз или не более 15 мин в течение смены;

2) F2 — более двух раз или более 15 мин в течение смены.

- Вероятность наступления опасного события О

1) О1 — хорошо освоенная технология, проверенные общепринятые защитные приспособления, надежность;

2) О2 — за последние два года наблюдались технические трудности (ненадлежащие действия, выполненные хорошо обученным работником, знакомым с источниками опасностей и имеющим более 6 мес опыта работы с данной машиной);

3) О3 — технические трудности наблюдаются регулярно (каждые шесть месяцев или чаще) [ненадлежащие действия, выполненные необученным работником, имеющим менее 6 мес опыта работы с данной машиной, и (или) аналогичные несчастные случаи наблюдались на предприятии в течение последних 10 лет].

- Возможность исключения или ограничения вреда А

1) А1 — возможно при некоторых обстоятельствах:

- если скорость движения частей машины не превышает 0,25 м/с и работник, подвергающийся опасности, осведомлен о ней посредством системы индикации опасных ситуаций или предупреждения о надвигающемся опасном событии;

- в зависимости от конкретных условий (температура, шум, эргономические факторы и др.);

2) А2 — невозможно.

Результаты первоначальной оценки заносятся в форму. Каждой опасной ситуации присваивают определенный индекс риска.

В данном примере оценку каждой из опасных ситуаций осуществляют из следующих соображений:

- индекс риска 1 или 2 соответствует наименьшему приоритету действий (приоритет 3);

- индекс риска 3 или 4 соответствует среднему приоритету действий (приоритет 2);

- индекс риска 5 или 6 соответствует наивысшему приоритету действий (приоритет 1).

Рассматривают возможные меры по снижению риска, после чего оценку производят еще раз, причем используют тот же самый граф рисков, что и при начальной проверке. В данном случае опасные ситуации, получившие индекс риска не более 2, считают не представляющими угрозы и не требующими применения мер по дальнейшему снижению риска.

А.4.3 Применение метода

А.4.3.1 Описание примера пресса для обрезки бумаги

В данном примере рассмотрено использование данного метода для оценки риска, связанного с уже установленным прессом для обрезки бумаги.

Оценивают рабочую операцию, заключающуюся в подаче и обрезке стопы бумаги при помощи пресса с электропневматическим приводом. При этом можно выделить и проанализировать три основные задачи:

- позиционирование стопы бумаги (рисунок А.4);

- давление на стопу бумаги;

- обрезка бумаги (рисунок А.5).

Рисунок А.4 — Позиционирование стопы бумаги

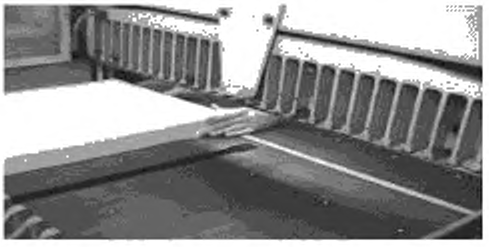


Рисунок А.5 — Руки рабочего под ножом

А.4.3.2 Результаты оценки риска

Результаты оценки приведены в таблицах А.6 и А.7: в таблице А.6 — результаты первоначальной оценки, а в таблице А.7 — остаточный риск с учетом принятых защитных мер. В некоторых случаях на выбор предлагают несколько возможных способов снижения риска.

В таблице А.7 жирным шрифтом выделены изменения, происшедшие в результате применения предложенных защитных мер.

Таблица А.6 — Результаты анализа начального риска

Анализ начального риска										
Действие		Опасные условия				Расчет степени риска/ вычисление показателя риска				
Решение	Действие	Опасность	Опасная ситуация	Опасное событие	Возможный вред	Степень тяжести (S1/S2)	Частота/ продолжительность (F1/F2)	Вероятность наступления (O1/O2/O3)	Возможность исключения (A1/A2)	Показатель риска (1 – 6)
1	Размещение стопы бумаги	Работа с электроэнергией	Работник находится рядом с проводящим металлическим корпусом	Рама машины находится под напряжением (плохое соединение, износ кабеля и т. п.)	Смертельная электротравма работника	2	2	2	2	5
1.1		Пресс под напряжением, нож в верхней позиции	Руки работника находятся на движущихся частях под напряжением	Неожиданное перемещение пресса или ножа при нажатии на педаль пуска	Раздавливание, порез верхних конечностей	2	2	2	2	5
			Руки работника находятся на стопе бумаги	Неожиданное перемещение пресса или ножа при неисправности блока управления		2	2	2	2	5
1.2		Режущие кромки листов бумаги	Работник перемещает стопу бумаги	Перемещение рук по режущим кромкам листов бумаги	Порезы пальцев или рук	1	2	3	1	2
2	Сжатие стопы бумаги	Вертикальное перемещение пресса (прикладываемое усилие 1000 Н)	Работник удерживает стопу бумаги в нужном положении. Его руки находятся рядом с прессом	Когда пресс начинает движение при включении его работником, руки последнего находятся под прессом	Раздавливание верхних конечностей	2	1	3	2	4
				Когда пресс начинает движение из-за неисправности блока управления, руки последнего находятся под прессом		2	1	2	2	3
3	Обрезка бумаги	Вертикальное перемещение ножа	Руки работника находятся рядом со столой бумаги	Когда нож начинает движение после его включения работником, руки последнего находятся на траектории движения	Сильные порезы верхних конечностей	2	1	3	2	4
				Когда нож начинает движение из-за неисправности блока управления, руки последнего находятся на траектории движения		2	1	2	2	3

Таблица А.7 — Результаты анализа остаточного риска

Анализ остаточного риска											
Результаты анализа начального риска				Снижение риска		Расчет степени риска после снижения/ Показатели риска после снижения[а)]					
Решение	Действие	Опасность	Показатель риска (1—6)	Возможные защитные меры	Выбранные защитные меры	Степень тяжести (S1/S2)	Частота/ продолжительность (F1/F2)	Вероятность наступления (O1/O2/O3)	Возможность исключения (A1/A2)	Показатель риска (1—6)	Примечание
1а	Размещение стопы бумаги	Работа с электроэнергией	5	Периодическая проверка изоляции и соединений Установка датчика остаточного тока	Периодическая проверка изоляции и соединений	2	2	1	2	4	Показатели риска в случаях 1а и 1б одинаковы
1б			5		Установка датчика остаточного тока	2	2	2	1	4	
1.1а		Пресс под напряжением, нож в верхней позиции	5	Установка защиты на педаль пуска Категория цепи управления машиной в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13849-1	Установка защиты на педаль пуска	2	2	1	2	4	Показатели риска в случаях 1.1а и 1.1б одинаковы
1.1б			5		Категория цепи управления машиной в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13849-1	2	2	1	2	4	
1.2		Режущие кромки листов бумаги	2	Защитные перчатки[б)] Уменьшение остроты кромок бумаги	Защитные перчатки[б)]	1	2	2	1	1	—

Окончание таблицы А.7

Анализ остаточного риска											
Результаты анализа начального риска				Снижение риска		Расчет степени риска после снижения/ Показатели риска после снижения[а)]					
Решение	Действие	Опасность	Показатель риска (1—6)	Возможные защитные меры	Выбранные защитные меры	Степень тяжести (S1/S2)	Частота/ продолжительность (F1/F2)	Вероятность наступления (O1/O2/O3)	Возможность исключения (A1/A2)	Показатель риска (1—6)	Примечание
2а	Давление на стопу бумаги	Вертикальное перемещение пресса (прикладываемое усилие 1000 Н)	4	Движение пресса включается при помощи устройства, требующего управления двумя руками, цепь управления соответствует ГОСТ Р ИСО 13849-1 Обучение Движение пресса включается при помощи педального устройства, цепь управления соответствует ГОСТ Р ИСО 13849-1 Снижение давления до момента, когда пресс достигнет бумаги	Движение пресса включается с помощью устройства, которое требует управления двумя руками, цепь управления соответствует ГОСТ Р ИСО 13849-1	2	1	**1**	2	**2**	Наиболее эффективным решением является 2г, затем 2а или 2в Решение 2б само по себе не обеспечивает адекватного снижения риска
2б			4		Обучение	2	1	**2**	2	**3**	
2в			3		Движение пресса включается с помощью педального устройства, цепь управления соответствует ГОСТ Р ИСО 13849-1	2	1	**1**	2	**2**	
2г			3		Движение пресса включается с помощью педального устройства, цепь управления соответствует ГОСТ Р ИСО 13849-1. Снижение давления до момента, когда пресс достигнет бумаги	**1**	1	**1**	2	**1**	
3а	Обрезка бумаги	Вертикальное перемещение ножа	4	Движение пресса включается при помощи устройства, которое требует управления двумя руками, цепь управления соответствует ГОСТ Р ИСО 13849-1 Обнаружение рук работника световой завесой	Движение пресса включается с помощью устройства, которое требует управления двумя руками, цепь управления соответствует ГОСТ Р ИСО 13849-1	2	1	**1**	2	**2**	Показатели риска в случаях 3а и 3б одинаковы
3б			3		Обнаружение рук работника световой завесой	2	1	**1**	2	**2**	

[а)] Жирным шрифтом выделены цифры, которые изменились в результате применения защитных мер.
[б)] При работе с высококачественной бумагой для печати надевать перчатки обязательно.

А.4.3.3 Комментарии

В представленном примере проанализирована несложная производственная операция и предложены меры по снижению связанного с ней риска. Общие результаты этой работы можно считать сравнимыми с общепринятой практикой для машин данного типа.

На данном примере также можно рассмотреть различные результаты, полученные с использованием различных защитных мер. Так, например, для снижения риска, связанного с вертикальным перемещением пресса:

- наиболее эффективной защитной мерой является решение 2г, менее эффективны 2а и 2в;
- решение 2б само по себе не обеспечивает адекватное снижение риска;
- решения 1а и 1б, 1.1а и 1.1б, а также 3а и 3б идентичны с точки зрения снижения риска;
- при применении одной из мер 1а, 1б, 1.1а и 1.1б остаточный риск остается слишком большим, поэтому рекомендуется применять эти меры совместно;
- необходимо периодически проверять изоляцию, соединения и состояние датчика остаточного тока рамы машины (ослабление соединений, износ кабелей и т. д.);
- необходимо защитить педаль щитком и убедиться в том, что цепь управления соответствует требованиям по предотвращению перемещения пресса или ножа в результате непреднамеренного нажатия на педаль или сбоя цепи управления;
- рекомендуется дополнить меры обучением и предупреждающими знаками.

Данный граф рисков можно использовать, главным образом, для оценки опасных ситуаций, связанных с получением тяжелых травм, — механических, электрических и (в некоторой степени) тепловых. Предлагаемый граф рисков, кроме того, можно использовать для оценки некоторых видов опасности для здоровья, в том числе шума и эргономических факторов. Однако в этих случаях полученные результаты необходимо сравнивать с оценками, полученными с использованием специализированных средств оценки.

Поскольку оценку следует производить коллективно, с учетом мнения большинства, нельзя ожидать, что результаты оценки, полученные разными группами, будут в точности одинаковы. Поэтому в некоторых отраслях промышленности пришли к необходимости адаптации параметров и границ графа рисков. Эти изменения могут влиять на результат оценки.

Использованный в данном примере граф эквивалентен матрице рисков, показанной на рисунке А.6.

		Вычисление показателя риска					
		О 1		О 2		О 3	
		А 1	А 2	А 1	А 2	А 1	А 2
S 1	F 1	**1**				**2**	
	F 2						
S 2	F 1	**2**			**3**		**4**
	F 2	**3**	**4**		**5**		**6**

Рисунок А.6 — Эквивалентная матрица рисков

А.5 Оценка риска с помощью балловой системы

А.5.1 Общие сведения

Некоторым людям проще понять степень риска и способы ее вычисления, если она представлена в численном виде. Однако возможность численно охарактеризовать риск привносит свою специфику в процесс снижения риска. Основной целью этого процесса становится снижение степени риска ниже приемлемого уровня, который выражается конкретным числом в пределах от минимального до максимального риска. Возможность выбрать то или иное число из заданного диапазона позволяет оценить риск более точно, чем при качественном подходе.

А.5.2 Описание метода

В данном примере использованы два параметра: степень тяжести вреда и вероятность его нанесения, каждому из которых может быть присвоен один из перечисленных ниже классов.

Оценку степени тяжести производят на основании начисленных баллов (SS) следующим образом:

- катастрофическая — SS ≥ 100;
- тяжелая — 99 ≥ SS ≥ 90;
- средняя — 89 ≥ SS ≥ 30;
- низкая — 29 ≥ SS ≥ 0.

Оценку вероятности нанесения вреда производят на основании начисленных баллов (PS) следующим образом:

- очень вероятно — PS ≥ 100, т. е. вероятнее всего произойдет;
- вероятно — 99 ≥ PS ≥ 70, т. е. может произойти (но это не очень вероятно);

- маловероятно — 60 ≥ PS ≥ 30, т. е. скорее всего не произойдет;
- невероятно — 29 ≥ PS ≥ 0, т. е. вероятность практически равна нулю.

В этом примере учет степени тяжести вреда и вероятности его нанесения осуществляют по формуле

$$PS + SS = RS, \quad (A.1)$$

где RS — оценка в баллах.

Используемые категории оценки риска приведены в таблице 8.

Таблица А.8 — Используемые категории оценки риска

Максимальный показатель, баллы	Категория	Минимальный показатель, баллы
—	высокий	≥ 160
159 ≥	средний	≥ 120
119 ≥	низкий	≥ 90
89 ≥	пренебрежимый	≥ 0

А.5.3 Применение метода

А.5.3.1 Описание задачи и машины

В примере рассмотрена оценка риска, связанного с машиной для нарезания хлеба (см. рисунок А.7). С точки зрения безопасности, риск получения травмы зависит от выполняемой задачи, а также от опасностей, связанных с ней, и применяемых защитных мер. В данном примере учитывают только одну опасность: контакт с вращающимся ножом. Рассматривают всех работников, которые могут работать с данной машиной.

Информация о несчастных случаях, имевших место при работе с машинами для нарезания хлеба, взята из статистических данных.

Оценку риска проводили с использованием балловой системы. Для каждой из идентифицированных опасностей были определены степень тяжести вреда и вероятность нанесения вреда. Затем эти данные были введены в матрицу численной оценки.

В ходе оценки учитывали текущий уровень механической защиты и наличие видеофильма, обучающего работе с машиной, меры по снижению риска, использовавшиеся при эксплуатации машин подобного типа с аналогичными опасностями, а также мнение пяти экспертов в области безопасности машин. Был оценен риск, связанный с эксплуатацией машины для нарезания хлеба с круглым ножом, без учета конкретных работников, занятых ее использованием. При осмотре рабочего места было установлено, что имеющийся уровень защиты состоит в использовании регулируемых предохранительных щитков и предупреждающих знаков, а также в выполнении рекомендаций производителя в отношении безопасных приемов работы. Возможные повреждения при работе с машиной представляют собой глубокие порезы, которые возникают при контакте с вращающимся ножом во время нарезки хлеба, извлечении застрявших внутри машины кусков хлеба, а также при чистке машины.

Машина для резки хлеба (рисунок А.7) представляет собой длинный четырехгранный короб, который полностью закрывает нож с боковых сторон. С торцов короб открыт. Основным элементом машины является тонкий и острый круглый нож с волнистой кромкой. Нож вращается с большой скоростью, тормозные механизмы отсутствуют (нож вращается до полной остановки). Верхнее отверстие короба находится приблизительно на уровне плеч. Размеры отверстия в защитном щитке и расстояние от этого отверстия до ножа таковы, что имеется возможность просунуть руку в отверстие и коснуться ножа.

Рисунок А.7 — Машина для резки хлеба

Производитель машины предусмотрел определенный порядок работы, при котором обеспечивается безопасность работника. Однако ответственность за обеспечение точного соблюдения этого порядка путем надлежащего обучения работников и контроля за их работой лежит на владельце оборудования. С другой стороны, несмотря на то что наличие безопасных методов работы необходимо, нельзя гарантировать, что работники будут надлежащим образом обучены и будут соблюдать предложенные правила работы.

А.5.3.2 Результаты оценки риска

В таблице А.9 приведены семь пар задача/опасность, требующие оценки по балловой системе. Во всех случаях степень тяжести вреда можно охарактеризовать как 30 (средняя), так как повреждения носят реверсивный характер, а лечение занимает не более одной недели. Вероятность нанесения вреда была оценена как 70 (вероятная), поскольку, несмотря на то что при включенном питании нет необходимости в доступе в опасную зону и нет сообщений о том, что такие травмы имели место, операторы обычно не имеют большого опыта работы и мало осведомлены об опасности. Таким образом начальное значение риска равно 100 баллам (низкий). Три используемые защитные меры (регулируемый щиток, предупреждающий знак и обучающее видео) снижают вероятность получения травмы с 70 до 30 (маловероятная), в результате чего итоговый уровень риска становится равным 60 (пренебрежимый).

Таблица А.9 — Численная оценка риска до и после применения мер по снижению риска

Задача/опасность	Начальные значения SS и PS	Баллы риска	Методы снижения риска	Итоговые значения SS и PS	Баллы риска
Игнорируют инструкции, просовывают руку внутрь машины, чтобы протолкнуть хлеб	30 (средняя) 70 (вероятно)	100 (низкий)	Регулируемые закрытия или барьеры, предупреждающие надписи, стандартные процедуры, руководства по эксплуатации	30 (средняя) 30 (маловероятно)	60 (пренебрежимый)
Не понимают серьезность опасности (нож), просовывают руку внутрь машины, чтобы протолкнуть хлеб					
Игнорируют инструкции, просовывают руку внутрь машины, чтобы извлечь хлеб					
Забывают о том, что нож еще вращается, просовывают руку внутрь машины					
Игнорируют инструкции, открывают и чистят машину, находящуюся под напряжением			Предупреждающие надписи, стандартные процедуры, руководства по эксплуатации, наблюдение		
Забывают отключить машину от сети и случайно нажимают на выключатель					
Отвлекаются на посторонних лиц или события и случайно нажимают на выключатель					

А.5.3.3 Комментарии

Эксплуатация и чистка машины для резки хлеба с круглым ножом, а также подающего короба сопряжены с риском, который для людей можно оценить в 60 баллов (пренебрежимый). Имеющиеся защитные меры — регулируемый щиток, предупреждающий знак и инструкции по технике безопасности — позволяют снизить риск.

А.6 Количественный расчет степени риска

Примечание — См. 8.4.5.

ВАЖНО. Текст, выделенный в разделе А.6 курсивом, является иллюстративным примером.

А.6.1 Общие сведения

Ниже приводится краткий обзор метода расчета степени риска, использованный для более точной оценки одного источника опасности, оценка которого качественными методами была бы слишком затруднительной.

Перед использованием этого метода необходимо тщательно идентифицировать все источники опасности в соответствии с разделом 7.

Используемые формы построены на основе логического дерева, которое применяется для установления причин несчастных случаев. Формы 3А и 3Б могут быть модифицированы или дополнены в соответствии со спецификой конкретного случая. Риск, вычисленный при помощи данного метода, выражается в количестве несчаст-

ных случаев различной степени тяжести в год, благодаря чему появляется возможность сравнения полученных результатов со статистикой по несчастным случаям для данной отрасли промышленности, а также с другими численными показателями риска. При выполнении расчетов используют справочные таблицы с предлагаемыми к использованию значениями вероятностей. Поэтому при расчете не требуется вычислять все эти значения заново. Эти справочные таблицы также могут быть изменены или дополнены в соответствии с требованиями пользователя или особенностями источника данных.

Использование данного метода пояснено на примере механизированной крепи, предназначенной для эксплуатации в угольной шахте. В примере описан сценарий несчастного случая, который является следствием опасной ситуации «повреждение высоковольтного кабеля».

А.6.2 Описание метода

А.6.2.1 Форма 1. Описание сценария несчастного случая

Представленную в виде таблицы А.10 форму описания сценария несчастного случая составляют на основании информации, собранной на этапе идентификации опасностей. Одна опасность может быть сопряжена с несколькими опасными ситуациями, каждая из которых может быть причиной возникновения опасного события. *В данном примере повреждение высоковольтного кабеля может быть причиной смертельной электротравмы или пожара.*

Таблица А.10 — Форма 1

Определение	Описание машины
Опасность. Описать потенциальный источник опасности	*Токоведущие части под высоким напряжением*
Опасная ситуация. Описать задачу, выполняемую с использованием машины (включая такие работы, как настройка и техническое обслуживание), во время выполнения которой какие-либо лица подвергаются опасности, т. е. имеется вероятность нанесения вреда. Описать, какие именно лица подвергаются опасности (операторы, обслуживающий персонал, прохожие)	*После выполнения внеплановых работ на траектории движения механизированной крепи оставлены тяжелые предметы, которые при возобновлении нормальной работы могут быть причиной опасности*
Опасное событие. Описать, каким именно образом опасность может причинять вред. Опасное событие может быть следствием ошибки человека во время выполнения опасной работы либо следствием случайного события/неисправности.	*Воспламенение во взрывоопасной атмосфере.* *Примечание — Имеется также опасность получения смертельной электротравмы, которая может последовать при контакте с токоведущей частью. Однако этот случай представляет собой другой сценарий, который будет изучаться посредством другого набора форм*
Последствия. Описать возможный вред в терминах наиболее вероятных последствий. Кроме того, описать, не являются ли менее тяжелые последствия более вероятными, если принять во внимание возможность исключения или ограничения вреда. Типовые примеры вреда приведены в таблице А.18	*Взрыв — смертельный исход для лиц, находящихся в непосредственной близости. Возможен групповой смертельный травматизм*
Предварительные условия опасного события. Для возникновения несчастного случая требуется выполнение всех предварительных условий. Если хотя бы одно из них не выполнено, возникновение несчастного случая невозможно. Напротив, если несчастный случай имеет место независимо от выполнения того или иного условия, оно не может считаться предварительным. Предварительные условия должны быть установлены как можно более точно, чтобы уменьшить погрешность вычислений. Существует несколько способов определения предварительных условий. Если в результате удается составить четкий список неповторяющихся условий, можно использовать любой из них	*1 На пути движения механизированной крепи оставлена распорка. При отсутствии надлежащего обучения и контроля это достаточно вероятно.* *2 Высоковольтный кабель поврежден. Если кабели не защищены, это достаточно вероятно.* *3 Работы осуществляются во взрывоопасной атмосфере. Это очень вероятно, если угольная пыль не спрессовывается. Кроме того, возможно присутствие в воздухе метана*

Для каждого сочетания «опасность — опасная ситуация — опасное событие» должна быть заполнена одна форма. Некоторые опасные ситуации представляют угрозу только для некоторых людей, например для обслуживающего персонала, другие — для более широкого круга лиц (операторов, обслуживающего персонала, прохожих). Этот факт должен найти четкое отражение в форме.

Целью заполнения форм является составление четкого и, насколько это возможно, достоверного описания фактов (цепочки событий), которые должны произойти или иметь место, чтобы наступило опасное событие. При этом полезно рассмотреть все аспекты, описанные в 8.3.

А.6.2.2 Форма 2. Вероятность выполнения всех предварительных условий

Форму 2 (см. таблицу А.11) используют, если имеется более одного предварительного условия. Также она позволяет отдельно зафиксировать вероятности их выполнения до и после рассмотрения общих причин их возникновения. Вероятность возникновения предварительных условий, которые выполняются по той же причине, что и начальное событие (имеется общая причина), а также условий, которые в свою очередь имеют предварительные условия, должна быть приравнена к единице. Если между предварительными условиями имеется какая-либо зависимость, необходимо либо определить единое предварительное условие, которое является их общей причиной, либо соответствующим образом ограничить их вероятность. В случае сомнений следует приравнять вероятность всех событий, имеющих общую причину, за исключением одного, к единице. *В данном примере предварительные условия не имеют общей причины, поэтому конечное значение вероятности равно начальному значению.*

Таблица А.11 — Форма 2

Предварительное условие (из списка формы 1)	Начальное значение вероятности	Идентификатор	Конечное значение вероятности
1 На пути движения оставлена распорка. Используют вероятность общей ошибки (опущение) из таблицы А.17	0,01	P_1	0,01
2 Высоковольтный кабель поврежден	0,1	P_2	0,1
3 Работы осуществляются во взрывоопасной атмосфере	0,1	P_3	0,1
..	—	...	—
n	—	P_n	—
Вероятность выполнения всех условий. Вероятность возникновения предварительных условий, которые выполняются по той же причине, что и начальное событие (имеется общая причина), а также условий, которые в свою очередь имеют предварительные условия, должна быть приравнена к единице. Необходимо провести линию, соединяющую такие предварительные условия. Для определения значений вероятностей можно использовать таблицы А.16 и А.17. Вероятности отказов следует определять по данным поставщика либо с помощью таблицы А.15		Πp_i, $i = 1,\ldots,n$, где П — произведение всех переменных от 1 до *n*	0,0001

А.6.2.3 Форма 3. Расчет вероятности опасного события и воздействия

Данную форму используют для количественной оценки воздействия и наступления опасного события — составляющих риска. В данном примере есть возможность выбора между двумя формами. Форму 3А используют для анализа опасных событий, причина которых заключается в ошибке человека, совершенной во время воздействия. Форму 3Б используют для оценки опасных событий, которые возникают из-за другого события или неисправности (отказа) независимо от того, подвергается ли кто-либо воздействию. Если вследствие ошибки человека вред может быть нанесен каким-либо лицам, отличным от того, кто совершил эту ошибку, при этом воздействие на этих лиц осуществляется независимо от того, когда была совершена эта ошибка, следует также использовать форму 3Б. Ошибка человека может быть не только начальным событием, но и предварительным условием.

Для работы с формой 3А необходимо:

- оценить количество случаев, когда человек оказывается в опасной ситуации, в год. Для этого следует использовать опыт, полученный во время эксплуатации машин подобного класса. При этом полученное значение можно записать напрямую в третью строку. В качестве альтернативы можно умножить количество рабочих смен за год на установленное количество опасных операций в год. В случае сомнений количество рабочих смен за год лучше всего принять равным 235. Если машину используют сезонно, как, например, сельскохозяйственную технику, которая работает всего несколько месяцев в год, например во время жатвы, следует также использовать значение 235 смен в год, так как нельзя предположить, что в оставшуюся часть года оператор не будет подвергаться опасности.

Примечание — В зависимости от места проведения работ количество рабочих смен в год может быть различным;

- оценить вероятность ошибки человека за время средней продолжительности опасного события. Для этого можно воспользоваться таблицей А.13.

Основная причина заключается в ошибке человека (оставлена распорка), однако воздействие опасности не зависит от ошибки человека. Поэтому будет использована форма 3Б.

Форму 3А, которая представлена в таблице А.12, следует использовать, если опасное событие возникло вследствие ошибки человека, подвергающегося опасности.

Таблица А.12 — Форма 3А

Составляющая	Идентификатор	Значение
Число рабочих смен, отработанных оператором за год: если оператор работает стандартный год, то есть по одной смене в день, 5 дней в неделю и 47 недель в год (с учетом праздников), это составит 5 × 47 = 235 смен в год Примечание — Количество смен в год на разных предприятиях может быть различным.	n_1	
Доля стандартной смены, в течение которой используют машину: в течение этого времени оператор не может работать на других машинах	r_1	
Число опасных операций в смену: определяют на основе стандартных схем использования машины, включая время ее настройки и технического обслуживания	n_2	
Число опасных операций в год: произведение двух предыдущих значений либо значение, определенное на основе опытных или других данных	$n_3 = n_1 n_2$	
Вероятность ошибки человека в течение средней продолжительности одной опасной ситуации: см. таблицу А.18	P_e	
Вероятность того, что все предварительные условия выполнены: если предварительных условий нет, это значение принимают равным единице. При наличии более одного условия расчет этого значения выполняют по форме 2	P_p	
Число опасных событий (в год) за время, в течение которого работник подвергается воздействию опасности	$F = P_e P_p n_3 / r_1$	

Форму 3Б, приведенную в таблице А.13, следует использовать, если опасное событие возникает вследствие другого события, которое не связано с тем, подвергается ли какое-либо лицо опасности. Например, это может быть неисправность (отказ) какого-либо узла, детали или функции машины и (или) оборудования.

Таблица А.13 — Форма 3Б

Составляющая	Идентификатор	Значение
Число опасных событий (в год): это значение может быть получено от поставщика соответствующего узла. В качестве альтернативы можно использовать опытные данные (таблица А.1). *Если высоковольтный кабель поврежден и имеет место взрывоопасная атмосфера, электрическая дуга рано или поздно приведет к возгоранию*	f_1	1
Доля времени, в течение которой работник находится вблизи машины: это значение можно оценить на основании знаний об обычной схеме использования машины, включая время ее настройки и технического обслуживания. Время выполнения опасных операций делится на время, проведенное у машины. Таким образом, удается учесть, что машину используют только время от времени. *Предполагается, что шахта используется 90 % продолжительности смены*	r_2	0,9
Вероятность того, что все предварительные условия выполнены: если предварительных условий нет, это значение принимают равным единице. При наличии более одного условия расчет этого значения выполняют по форме 2	P_p	0,0001
Число опасных событий (в год) за время, в течение которого работник подвергается воздействию опасности	$F = P_p f_1 / r_2$	0,00009
Альтернативная оценка (за год) берется на основе экспериментальных и других данных	F	—

А.6.2.4 Форма 4. Расчет степени риска с учетом возможности исключения или ограничения вреда

Форму, которая приведена в таблице А.14, используют для учета возможности исключения или ограничения вреда. Благодаря этому удается избежать переоценки и недооценки вреда, когда наихудшим последствием опас-

ной ситуации является смерть, но из-за того, что вред может быть исключен или ограничен, более вероятно, что пострадавший получит лишь тяжелые или легкие травмы.

Таблица А.14 — Форма 4

Составляющая			Идентификатор	Значение
Количество опасных событий за время, в течение которого работник подвергается воздействию опасности по форме 3А или 3Б			F	0,00009
Степень тяжести Примеры см. в таблице А.18	Вероятность нанесения вреда определенной тяжести		Количество нанесения вреда определенной тяжести (в год)	
	Идентификатор	Значение	Идентификатор	Значение
Смерть или тяжелая неизлечимая травма	S_1	1	FS_1	0,00009
Тяжелая — *выжить при взрыве маловероятно*	S_2		FS_2	
Легкая	S_3		FS_3	
Нет — *или небольшое повреждение*	S_4			
Итого	$S_1 + S_2 + S_3 + S_4$	1		

А.6.2.5 Дополнительные данные

Дополнительные данные приведены в таблицах А.15—А.18.

Таблица А.15 — Частота возникновения некоторых редких событий

Событие	Количество (в год)
Смертность от любых причин	$1 \cdot 10^{-2}$
Смертность в группах высокого риска в относительно рискованных отраслях промышленности, включая горнодобывающую	$1 \cdot 10^{-3}$
Смертность в дорожно-транспортных происшествиях	$1 \cdot 10^{-4}$
Смертность от несчастных случаев в наиболее безопасных отраслях промышленности	$1 \cdot 10^{-5}$
Смертность от пожаров и взрывов газов в домашних условиях	$1 \cdot 10^{-6}$
Смертность от ударов молниями	$1 \cdot 10^{-7}$

Таблица А.16 — Предлагаемые значения вероятности

Вероятность	Описание
1	Происходит регулярно
10^{-1}	Часто и ожидаемо. Часто составляет часть процесса
10^{-2}	Вероятно. Может иметь место в ходе процесса
10^{-3}	Необычно. Может происходить время от времени, но обычно не происходит
10^{-4}	Невероятно. Были случаи в других местах, в других компаниях
10^{-5}	Возможно. Может произойти, но таких случаев зарегистрировано не было
10^{-6}	Невероятно. Чрезвычайно маловероятно. Можно предполагать, что этого не случится
10^{-7}	Невозможно. Никогда не происходит

Таблица А.17 — Вероятность ошибки человека

Вероятность	Задача
0,0001	Обычная работа, хороший запас времени на выполнение, достаточная осведомленность об опасности
0,001	Обычная, простая работа
0,01	Общая ошибка упущения
0,1	Необычная, сложная работа
0,1	Высокая нагрузка, ограничение по времени до 30 мин
0,9	Высокая нагрузка, ограничение по времени до 5 мин
1	Высокая нагрузка, ограничение по времени до 1 мин
1	Ошибка на втором шаге, если ошибка уже сделана на первом шаге

Таблица А.18 — Типовые примеры вреда различной степени тяжести

Степень тяжести	Примеры травм
Смерть или тяжелая неизлечимая травма	Паралич четырех конечностей Паралич двух конечностей Длительная потеря сознания (кома) Необратимое разрушение мозга
Тяжелая травма	Потеря конечностей (кроме пальцев рук и ног) Ожоги, сопровождающиеся появлением шрамов Полная или частичная потеря зрения Любые ампутации Потеря сознания (не длительная) Вывих плеча, локтя, колена или позвоночника Необходимость в лечении из-за отравления дымом Любые травмы, требующие реанимации
Легкая травма	Небольшие переломы костей (включая пальцы рук и ног) Порезы и ушибы Небольшие ожоги, проходящие со временем шрамы Любые другие травмы, требующие только первой помощи
Нет травмы либо незначительная травма	Отсутствие травм, включая возможность исключения вреда

А.6.2.6 Комментарии

Ценность расчета степени риска путем подобного анализа сценариев несчастных случаев заключается не столько в полученных численных результатах, сколько в понимании всех факторов, оказывающих влияние на риск. Это может быть полезно при планировании мер снижения риска. Например, в данном примере большое значение для снижения риска имеют обучение и квалификация работников.

При условии, что оценка риска была проведена опытным оценщиком совместно с конструкторами и специалистами по монтажу/техническому обслуживанию, все работы, связанные с анализом механизированной крепи были проведены в следующие сроки:

- один день на ознакомление и определение пределов эксплуатации;
- два дня на идентификацию опасностей, в результате которой был получен список из 41 опасности и опасной ситуации;
- один день на расчет степени риска, в ходе которого 10 опасных ситуаций были рассмотрены по аналогии с изложенным выше примером, а остальные опасные ситуации были оценены качественно;
- пять дней на запись результатов, оценку степени риска и выполнение комплексного сравнения результатов со статистикой несчастных случаев (это время может быть значительно сокращено при условии компьютеризации метода оценки);
- один день на уведомление группы разработчиков о результатах оценки.

При расчете степени риска с помощью данного метода учитывали встроенные в конструкцию защитные меры, а также общепромышленные методы работы. Результаты расчета использовали для принятия решения о необходимости снижения риска. Группа конструкторов пришла к решению, что, с учетом данного значения риска,

изменение конструкции, например установка защитного барьера, нерационально. Однако сведения о риске и о мерах, которых должны придерживаться пользователи для его снижения, будут включены в руководство по эксплуатации машины.

Данный метод идеально подходит для применения группой специалистов во главе с опытным квалифицированным работником. Результаты оценки могут стать предметом технического обсуждения, поводом пересмотреть принятые конструктивные решения и допущения с учетом опасностей и риска. Поэтому маловероятно, что дополнительные усилия, необходимые для реализации данного метода, будут экономически оправданы, если предметом оценки является машина, защитные меры для которой стандартизированы или хорошо известны по опыту практического применения.

А.7 Оценка риска с помощью комбинированных методов

А.7.1 Общие сведения

Данный метод оценки основан на качественном анализе количественных параметров. В этом плане он представляет собой комбинацию балловой системы и матриц риска.

Метод подходит для использования на всех этапах оценки — от идентификации опасностей с последующим расчетом и оценкой степени риска до разработки защитных мер и принятия решения об их адекватности.

На первом этапе для выполнения оценки достаточно одного сотрудника и одного или нескольких дней работы. В дальнейшем, как и при использовании других методов оценки, полученные результаты должны быть проанализированы группой специалистов (как описано в 5.2), после чего может потребоваться повторное выполнение оценки.

Перед началом оценки с использованием данного метода требуется выполнить подготовительные работы, описанные в разделе 5, а также оценить пределы эксплуатации машины, как описано в разделе 6.

А.7.2 Описание метода

Оценку проводят с помощью таблицы А.19 в соответствии со следующими инструкциями.

Предварительная оценка риска

Установка этого флажка (см. таблицу А.19 — знак X) говорит о том, что предпринимается первая попытка оценки риска. Обычно это происходит на предварительном этапе проектирования, когда в наличии имеются только спецификации и эскизы. Рабочие чертежи на данном этапе недоступны. Поэтому в ходе анализа рассматривают только основные, крупные системы машины, например механические или сервоприводы, магистрали горячего воздуха, ультразвуковую изоляцию, подвижные щитки или световые барьеры (см. таблицу А.19).

Промежуточная оценка риска

Установка этого флажка говорит о том, что была проведена промежуточная оценка риска, которая выполняется на этапе разработки машины. На этом этапе рассматривают два набора опасностей. Защитные меры, необходимость в которых была выявлена на этапе предварительной оценки, на данном этапе применяют и подвергают повторному анализу. В процессе разработки конструкция машины претерпевает изменения. При этом оценку и проектирование следует производить параллельно в течение всей работы над проектом. При выявлении новых опасностей выполняют их анализ (см. таблицу А.19).

Окончательная оценка риска

Установка этого флажка говорит о том, что проводят окончательную оценку риска, предметом которой являются уже реализованные защитные меры. На этом этапе не должно быть выявлено никаких новых опасностей, но если это происходит, следует их проанализировать. Если при этом потребуется применить новые защитные меры, анализ следует повторить еще раз (см. таблицу А.19).

Ссылочный номер

Ссылочный номер — номер, который присваивают каждой из идентифицированных опасностей, и который в дальнейшем используют для ссылок на нее.

Типовой номер

Типовой номер — номер типа или группы опасности, который используют для их классификации. Эти номера соответствуют таблице А.1.

Опасность

Описание опасности. Типовой номер определяет тип или группу опасности. Здесь необходимо указать источник опасности этого типа или группы. Например, если опасность связана с возможностью раздавливания, в графе «Типовой номер» следует указать «1», а в данной Графе — «Раздавливание».

Может потребоваться несколько раз проанализировать одну и ту же опасность, так как она может быть связана с различными опасными ситуациями и событиями.

Степень тяжести Se

Степень тяжести вреда, который может быть нанесен вследствие воздействия той или иной идентифицированной опасности, оценивают по следующей шкале:

1 — царапины и порезы, которые требуют только мер первой помощи;

2 — более тяжелые царапины, порезы и уколы, которые требуют профессиональной медицинской помощи;

3 — поддающаяся лечению травма, но вернуться к работе после лечения достаточно затруднительно;

4 — неизлечимая травма, вернуться к работе после лечения крайне затруднительно, если вообще возможно.

Таблица А.19 — Пример заполненной формы оценки комбинированным методом

Оценка риска и защитные меры	Документ №: 684 Часть документа №: 672	
Изделие: Колебательный подвод Аналитик: Имя Черная область — требуются защитные меры Дата: 2007-09-17 Серая область — рекомендуются защитные меры		Предварительная оценка риска
	X	Промежуточная оценка риска
		Окончательная оценка риска

Последствия	Степень тяжести Se	Класс CI (Fr + Pr+Av)					Количество Fr	Вероятность Pr	Возможность искл вреда Av
		3—4	5—7	8—10	11—13	14—15			
Смерть, потеря глаза или руки	4						Fr ≤ 1 ч 6	Очень высокая 5	
Неизлечимая травма, потеря пальцев	3						1 ч < Fr ≤ 24 ч 5	Высокая 4	
Излечимая травма, медицинская помощь	2						24 ч < Fr ≤ 2 недели 4	Средняя 3	Невозможно 5
Излечимая травма, первая помощь	1						2 недели < Fr ≤ 1 год 3	Низкая 2	Возможно 3
							Fr > 1 год 2	Пренебрежимая 1	Вероятно 1

№ п/п	№ опасности	Опасность	Se	Fr	Pr	Av	CI	Защитная мера	Адекв. безоп.
1	2	Контакт с токоведущими частями							Да
2	1	Раздавливание пальцев	3	4	2	3	9	Щиток с блокировкой	
3	1	Палец между шпинделем и рамой	2	3	2	3	8	Щиток с блокировкой	

Комментарии к № п/п	
2	Раздавливание пальцев между ремнем и шкивом

Частота Fr

Данный показатель определяется средней частотой возникновения опасности и продолжительностью ее воздействия. Данный показатель оценивают по следующей шкале:

2 — интервал между воздействиями более одного года;

3 — интервал между воздействиями более двух недель, но не более одного года;

4 — интервал между воздействиями более одного дня, но не более двух недель;

5 — интервал между воздействиями более 1 ч, но не более одного дня. Если продолжительность воздействия не превышает 10 мин, перечисленные значения могут быть уменьшены на 1;

6 — интервал между воздействиями менее 1 ч. Это значение не может быть уменьшено.

Вероятность Pr

Этот параметр характеризует вероятность наступления опасного события. Для ее определения следует, например, рассмотреть реакцию человека, статистику несчастных случаев, надежность деталей и узлов, а также их природу (ножи всегда остры, дымовые трубы горячи, а электричество опасно). Данный показатель оценивают по следующей шкале:

1 — пренебрежимая: отказ узла данного типа невозможен, как невозможно и наступление соответствующего опасного события. Возможность ошибки человека отсутствует;

2 — низкая: вероятность отказа узла данного типа и соответственно наступления опасного события минимальна, как и возможность ошибки человека;

3 — средняя: возможен отказ узла данного типа и наступление вследствие этого опасного события. Также возможна ошибка человека;

4 — высокая: отказ узла данного типа и соответственно наступление опасного события вероятны, как и ошибка человека;

5 — очень высокая: узел данного типа не рассчитан на применение в данных условиях. Следует ожидать его отказа и наступления опасного события. Кроме того, весьма вероятна ошибка человека.

Возможность исключения вреда Av

Данный параметр характеризует возможность исключения или ограничения вреда. Для определения его значения следует рассмотреть, например, уровень квалификации потенциальных операторов машины, скорость, с которой опасная ситуация может привести к нанесению вреда, осведомленность операторов об опасности (благодаря источникам общей информации, наблюдению или предупреждающим знакам). Данный параметр оценивают по следующей шкале:

1 — вероятна: например, вероятно, что контакта с движущимися частями в большинстве случаев удастся избежать благодаря наличию щитка с блокировкой, даже если блокировка выйдет из строя, и движение продолжится;

2 — возможна: например, можно избежать опасности запутывания, если скорость мала;

3 — невозможна: например, невозможно избежать неожиданного воздействия мощного лазерного луча или контакта с токоведущей частью при неожиданном пробое изоляции.

Класс Cl

Данный параметр характеризует класс. Параметры Fr, Pr и Av характеризуют вероятность нанесения вреда в соответствии с 8.2.1. Оценку каждого из этих трех параметров осуществляют независимо от других. При этом следует выбирать наихудшее из практически вероятных значений. Сложение этих значений позволяет вычислить параметр Cl, т.е. Cl = Fr + Pr + Av.

Оценка степени риска

Оценку степени риска производят с помощью матрицы, которая расположена в верхней средней части формы (см. таблицу А.19).

Если строка и графа, соответствующие степени тяжести Se и классу Cl, пересекаются в черной области, необходимо предусмотреть защитные меры для снижения риска.

Если эти строка и графа пересекаются в серой области, рекомендуется предусмотреть защитные меры для дополнительного снижения риска.

Если же соответствующие строка и графа пересекаются вне серой и черной областей, адекватное снижение риска уже достигнуто.

Защитные меры

Необходимо указать защитные меры, которые должны быть реализованы для снижения риска.

Адекватная безопасность

Необходимо указать, обеспечили ли реализованные защитные меры адекватное снижение риска. Для этого необходимо сначала реализовать эти защитные меры, а затем провести повторное исследование с учетом обновленных значений параметров. Такой подход позволяет проверить эффективность защитных мер. Кроме того, при этом удается убедиться в том, что защитные меры не привнесли в конструкцию новые источники опасности.

Комментарии

Если поле «Опасность» слишком мало для описания опасности, его можно продолжить здесь, поместив ссылочный номер соответствующей опасности в левую графу и описав ее в правой. Если к форме прилагаются фотографии, здесь же можно указать ссылки на них.

А.7.3 Применение

А.7.3.1 Описание оцениваемой задачи и машины

В данном примере описан порядок применения комбинированного метода анализа для оценки риска, связанного с упаковочной машиной. Этот пример представляет собой часть оценки риска, связанного с электрическими и механическими опасностями.

Рассматриваемые опасности заключаются в контакте с токоведущими частями и колебательным приводом, который является источником механической опасности (приводной ремень и шпиндель).

Электрические опасности представляют угрозу при выполнении технического обслуживания. Механические опасности воздействуют на операторов машины.

А.7.3.2 Результаты оценки риска с использованием данного метода

В таблице А.19 приведены результаты промежуточной оценки. Все последующие описания относятся к этой таблице.

Первая, предварительная оценка риска имеет номер документа 672. Этот документ не показан.

Во время предварительной оценки риска была идентифицирована электрическая опасность (ссылочный номер 1).

Затем были выполнены расчет и оценка степени риска, связанного с этой опасностью, в результате чего было установлено, что требуется применение защитных мер.

Следующая, промежуточная оценка риска имеет номер документа 684 (см. таблицу А.19). Она ссылается на предыдущую, предварительную оценку, имеющую номер документа 672.

Во время промежуточной оценки риска опасность № 1 была оценена еще раз с учетом принятых защитных мер. Было получено подтверждение адекватного снижения мер, что и нашло отражение в графе «Адекватная безопасность» таблицы А.19.

Однако во время этой оценки были выявлены две новые опасности № 2 и 3. Были произведены расчет и оценка степени риска этих опасностей, которые показали, что они требуют применения защитных мер. В качестве таких мер защиты предложено использовать щитки с блокировкой. Следующая, окончательная оценка риска будет иметь новый номер документа (этот документ не показан) и ссылаться на результаты промежуточной оценки, имеющей номер 684.

Во время окончательной оценки риска опасности № 2 и 3 должны быть рассмотрены вновь, на этот раз после реализации соответствующих защитных мер (щитков с блокировкой). Если эффективность их применения будет подтверждена, это также должно найти отражение в графе «Адекватная безопасность».

Если при этом не будет выявлено каких-либо новых опасностей, оценка риска считается завершенной. Если же новые опасности будут обнаружены, но выяснится, что они не требуют применения защитных мер, этот факт необходимо также занести в графу «Адекватная безопасность».

Если же окажется, что вновь выявленные источники требуют дополнительных мер защиты, такую оценку нельзя считать окончательной, и она получает статус промежуточной. При этом после реализации соответствующих защитных мер следует провести еще одну, окончательную оценку риска.

Эта оценка риска будет признана окончательной, а процесс оценки завершенным, если в ходе него не будет выявлено каких-либо опасностей, требующих реализации защитных мер.

А.7.3.3 Комментарии

Считают, что данный метод наиболее эффективен при коллективной работе над оценкой (см. 5.2). В группу исполнителей, использующую данный метод, должны входить разработчики электрической и механической частей машины, специалисты по техническому обслуживанию, технические исполнители, работающие над руководствами по эксплуатации, а также начальник группы, имеющий значительный опыт в использовании данного метода.

Если оценка с применением данного метода осуществляется в рамках анализа конструкции машины, это позволяет сэкономить время и гарантировать, что безопасность является свойством разработанной конструкции, а не результатом установки дополнительного оборудования.

Данный метод уже много лет используют во всем мире при разработке упаковочных машин. Кроме того, его используют некоторые контролирующие организации. Теоретически он может найти применение в любой отрасли промышленности.

А.8 Расчет вероятности безотказной работы машины и (или) оборудования методом «по критериям отказов»

А.8.1 Общие сведения

В приведенном ниже примере рассмотрен случай, указанный в разделе 4, когда тяжесть последствий наступления опасного события зависит от комплекса организационных и технических мероприятий, устанавливаемых проектантом системы или заказчиком, и разработчику машины и (или) оборудования неизвестна.

В целях последующей оценки и обеспечения допустимого риска проектантом системы или заказчиком, разработчик машины и (или) оборудования оценивает лишь вероятность наступления опасного события (отказа), которая указывается в документации на машину и (или) оборудование.

Приведенный в примере метод расчета следует рассматривать как дополнение к методам, приведенным в А.2—А.7, и может включаться в их состав при оценке вероятности наступления опасного события.

В качестве оборудования в данном примере рассмотрена трубопроводная арматура, которая находит широкое применение на объектах различных отраслей промышленности (магистральные и промысловые газо- и

нефтепроводы, устьевая и фонтанная арматура, атомные станции, водопроводные системы, компрессорные станции и многие другие системы и объекты) и является основным средством управления потоками рабочей среды в трубопроводных системах, средством защиты от превышения давления в машинах и (или) оборудовании.

Трубопроводная арматура может представлять угрозу безопасности при отказе, связанном с разрушением, приводящем к выходу рабочей среды в окружающую атмосферу, или отказе, связанном с невыполнением арматурой ее основных функций как запорного, регулирующего или предохранительного устройства, что также может привести к аварийной ситуации.

А.8.2 Описание метода

Общее описание метода расчета ВБР машины и (или) оборудования (изделия) приведено в 8.2.3.3. Перед проведением расчета разработчик изделия должен оценить безопасность конструкции для пользователя при безотказном функционировании изделия (собственную безопасность изделия) и отразить ее в обосновании безопасности.

А.8.3 Пример оценки безопасности и расчета ВБР

А.8.3.1 Задача

Оценить безопасность конструкции клапана с электроприводом и определить вероятность безотказной работы в течение ресурса 30 000 ч (500 циклов). Клапан предназначен для применения на химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих и других производствах и объектах, связанных с обращением или хранением взрывопожароопасных и токсичных веществ и смесей. Клапан в процессе эксплуатации открыт ~50 % времени ресурса. Время совершения одного цикла 0,5 с.

А.8.3.2 Оценка уровня безопасности

1) Клапан относится к классу ремонтируемых, восстанавливаемых изделий с регламентированной дисциплиной восстановления, назначенной продолжительностью эксплуатации.

2) Проведенный анализ конструкции показал, что клапан может иметь следующие отказы:

- негерметичность относительно внешней среды;
- негерметичность в затворе;
- самопроизвольное закрытие;
- самопроизвольное открытие;
- отсутствие рабочих перемещений.

3) При анализе работы клапана рассмотрены следующие факторы опасности:

- механическая;
- термическая;
- химическая [токсическое поражение (отравление)];
- взрывная;
- пожарная;
- электрическая.

Биологическая, ядерная и радиационная опасности не рассматриваются, так как рабочая среда и условия эксплуатации не вызывают этих видов опасности.

4) Проведенный анализ конструкции, технических требований к изготовлению и испытаниям клапана, а также его возможных отказов показал, что клапан обеспечит механическую, термическую, химическую, пожарную и взрывную безопасность, исходя из следующего:

- механическая безопасность обеспечена:

а) подбором материалов деталей, работающих под давлением, с учетом параметров и условий эксплуатации;

б) расчетом на прочность основных элементов конструкции с обеспечением достаточных запасов прочности;

в) испытанием на прочность материала деталей клапана после изготовления;

г) герметичностью относительно внешней среды;

д) размещением всех подвижных частей клапана внутри корпуса и крышки, что исключает угрозу травмы от механического воздействия;

е) отсутствием острых выступающих частей и кромок на корпусных деталях;

ж) записью в руководстве по эксплуатации требований и рекомендаций, исключающих травмы при монтаже и сборке/разборке изделия;

- термическая безопасность обеспечена тем, что термическое воздействие со стороны клапана в районе рукоятки ручного дублера находится в безопасных для человека пределах;

- химическая безопасность [опасность токсического поражения (отравления)] обеспечена:

а) правильным выбором коррозионно-стойких материалов;

б) правильным выбором уплотнительных материалов и конструкции неподвижных соединений;

в) применением надежных методов неразрушающего контроля сплошности металла в процессе изготовления;

г) проведением испытаний пробным давлением на прочность корпусных деталей и плотность материала;

д) расчетом на прочность основных элементов конструкции и обеспечением достаточных запасов прочности;

е) применением в конструкции нетоксичных металлических и неметаллических материалов;

- взрыво- и пожаробезопасность обеспечены правильным выбором материалов:

а) материалы основных деталей не являются источниками взрывоопасности;

б) материалы перемещающихся элементов конструкции не вызывают искрообразования при ударе;

в) материалы, из которых изготовлены детали, не являются источниками возгорания горючих сред, а также являются хладостойкими;

г) материалы уплотняющих элементов обеспечивают герметичность относительно внешней среды;

- все физически вредные производственные факторы не превышают санитарно-гигиенических норм, оговоренных национальными стандартами;

- электробезопасность обеспечивается взрывозащищенным исполнением привода клапана.

А.8.3.3 Исходные данные для расчета ВБР

1) Исходя из конструкции клапана в качестве возможных отказов (критериев отказа) определены:

- негерметичность относительно внешней среды;
- негерметичность в затворе;
- самопроизвольное закрытие;
- самопроизвольное открытие;
- отсутствие рабочих перемещений.

2) Ресурс t = 30000 ч (T = 500 циклов).

3) Клапан открыт ~50 % $t \approx 15\,000$ ч.

4) Время совершения цикла 0,5 с.

5) Интенсивности отказов (ВБР) элементов (деталей) приняты по данным заводов-изготовителей.

А.8.3.4 Основные допущения, принятые при расчете

1) Отказы элементов клапана являются событиями случайными и независимыми.

2) Вероятность безотказной работы элементов определяется экспоненциальным законом распределения (отказы — редкие события).

3) Все элементы одного и того же типа имеют равную интенсивность отказов.

4) Из рассмотрения исключают периоды приработки и износа, т.е. интенсивность отказов принимается постоянной.

5) При расчете учитывают только те элементы, выход из строя которых приводит к отказу клапана.

А.8.3.5 Расчет ВБР

1 Методика расчета

1.1 Для оценки вероятности безотказной работы арматуры следует построить схему отказов арматуры следующим образом:

1-й уровень — состояние арматуры (работоспособное, неработоспособное) или событие [отказ (предельное состояние), или отсутствие отказа (предельного состояния)];

2-й уровень — события, состояния, функции, от которых зависит 1-й уровень (критерии отказов и предельных состояний);

3-й уровень (и последующие уровни) — элементы арматуры или события, от которых зависит 2-й (предыдущий) уровень.

При построении схемы отказов рекомендуется использовать следующие обозначения:

— состояние, событие;

— элементы (детали, узлы) арматуры (есть исходная информация — интенсивность отказов или ВБР);

— «и» (знак зависимости);

— «не» (знак зависимости);

— «или» (знак зависимости).

1.2 Вероятность безотказной работы клапана $P_{11}(t)$ в течение заданного периода t определяют по формуле

$$P_{11}(t) = \prod_{j=1}^{k} P_{2j}(t), \qquad (A.1)$$

где k — количество отказов;

$j = 1, \ldots, k$ — вид (критерий) отказа;

$P_{2j}(t)$ — ВБР по j-му критерию отказов на 2-м уровне (см. 8.2.3.3).

При расчете вероятностей $P_{2j}(t)$ учитывают только те узлы и детали, которые влияют на отказ по j-му критерию.

1.3 Если события или элементы (i + 1)-го уровня связаны знаком «и», то вероятность безотказной работы i-го уровня по j-му критерию определяют по формуле

$$P_{ij}(t) = \prod_{l=1}^{n} P_{i+1,l}(t), \tag{A.2}$$

где i — уровень события по схеме (i = 1 — отказ);

$l = (1; n)$ — события или элементы (i+1)-го уровня, влияющие на наступление события i-го уровня по схеме.

Если события или элементы арматуры (i + 1)-го уровня связаны знаком «или», то вероятность безотказной работы i-го уровня по j-му критерию определяют по формуле

$$P_{ij}(t) = 1 - \prod_{l=1}^{n} (1 - P_{i+1,l}(t)), \tag{A.3}$$

Если часть событий или элементов связаны знаком «или», а другая часть — знаком «и», то вероятность безотказной работы i-го уровня определяют с применением формул (А.2), (А.3) и с учетом группировки событий или элементов по связям в схеме соединения.

1.4 Строят схему отказов клапана (рисунок А.8) и заполняют таблицу А.20.

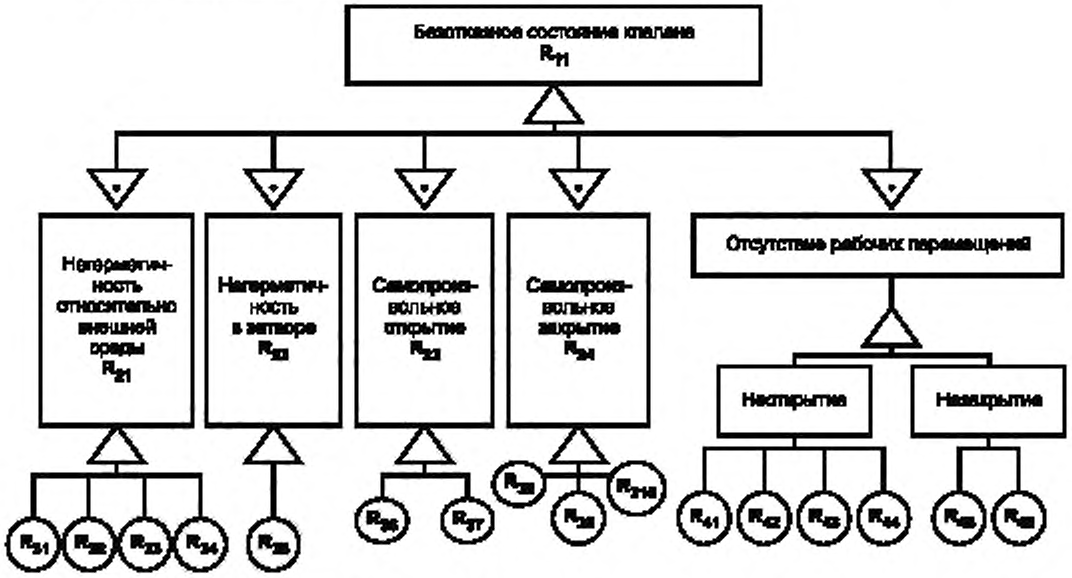


Рисунок А.8 — Схема отказов клапана

1.5 Вероятность безотказной работы в течение заданного периода t определяется для каждого события, состояния, обозначенного на схеме прямоугольником.

Расчет производится от нижнего уровня к верхнему уровню.

Вероятность безотказной работы P_{ij} в течение заданного периода t нужно определять исходя из данных об интенсивностях отказов (ВБР) элементов клапана.

1.6 Для каждого элемента необходимо определить:

а) время t', в течение которого элемент находится под нагрузкой;

б) время t'', в течение которого элемент находится в ненагруженном состоянии.

Причем период непрерывной работы (заданный период)

$$t = t' + t''. \tag{A.4}$$

1.7 Интенсивность отказов каждого i-го элемента λ'_i, находящегося под нагрузкой, определяют по формуле

$$\lambda'_i = \beta_1 \cdot \lambda_{0i}, \tag{A.5}$$

где β_1 — поправочный коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженных элементов (выбирают по информации завода-изготовителя, если существует);

λ_{0i} — среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации, определяемая (приводимая, указываемая) независимо от нахождения элемента под нагрузкой или без нагрузки.

1.8 Интенсивность отказов i-го элемента λ''_i, не находящегося под нагрузкой, определяют по формуле

$$\lambda''_i = \beta_2 \cdot \lambda'_i = \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot \lambda_{0i}, \qquad (A.6)$$

где β_2 — поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов для ненагруженного элемента (для электрических элементов выбирается по информации завода-изготовителя, если существует, для остальных элементов принимают равным $1 \cdot 10^{-3}$).

1.9 Вероятность безотказной работы одного элемента рассчитывается по формуле (А.7) или (А.8) и (А.9):

а) при размерности λ_{0i} в единицах 1/ч

$$P_i(t) = e^{-(\lambda'_i \cdot t'_i + \lambda''_i \cdot t''_i)}; \qquad (A.7)$$

б) при размерности λ_{0i} в единицах 1/цикл

$$P_i(t) = e^{-\lambda_{0i} \cdot T_i}, \qquad (A.8)$$

где T_i — наработка арматуры в заданный период, циклы;

в) если известна вероятность безотказной работы i-го элемента $P(t^*)$ за фиксированный срок или наработку (t^*), то

$$P_i(t) = e^{\frac{t}{t^*} \ln P_i(t^*)}. \qquad (A.9)$$

1.10 Если разнотипные элементы в арматуре или i-й группе элементов соединены последовательно и элементы одного типа имеют одну продолжительность работы t_i, или наработку в циклах T_i, или ВБР за время t^*, то расчет ВБР этой группы элементов (арматуры) проводят в зависимости от вида исходной информации соответственно по формулам:

$$P_j(t) = e^{-\sum_{i=1}^{k} m_i(\lambda'_i \cdot t'_i + \lambda''_i \cdot t''_i)}, \qquad (A.10)$$

или

$$P_j(t) = e^{-\sum_{i=1}^{k} m_i \lambda_{0i} T_i}, \qquad (A.11)$$

или

$$P_j(t) = e^{\sum_{i=1}^{k} m_i \frac{t}{t^*} \ln P_i(t^*)}, \qquad (A.12)$$

где m_i — число элементов i-го типа в группе элементов или в арматуре, $i = 1,\ldots, k$;
k — число типов элементов в группе или арматуре.

2 Расчет

2.1 Вероятность безотказной работы элементов, находящихся непрерывно под нагрузкой, рассчитывают на время

$$t = 30000 \text{ ч (500 циклов)}.$$

2.2 Вероятность безотказной работы элементов, находящихся под нагрузкой в течение времени совершения циклов, определяют на время

$$t'_1 = T \cdot t_ц = 500 \cdot 0{,}5 = 250 \text{ с} \approx 0{,}07 \text{ ч}.$$

2.3 Вероятность безотказной работы элементов, находящихся под нагрузкой, когда клапан открыт, рассчитывается на время

$$t'_2 = 15000 \text{ ч}.$$

2.4 Вероятность безотказной работы элементов, находящихся под нагрузкой, когда клапан закрыт, рассчитывается на время

$$t'_3 = 30000 \text{ ч} - 15000 \text{ ч} = 15000 \text{ ч}.$$

2.5 Вероятность безотказной работы ненагруженных элементов рассчитывают на время:

$$t''_1 = t - t'_1 = 30000 - 0{,}07 = 29999{,}93 \text{ ч},$$
$$t''_2 = t - t'_2 = 15000 \text{ ч},$$
$$t''_3 = t - t'_3 = 15000 \text{ ч}.$$

Таблица А.20 — Таблица для расчета ВБР элементов и узлов клапана

Обозначение на схеме	Наименование элемента, узла арматуры	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации λ_{ov}, 10^{-6}, 1/ч	Число элементов i-го типа в группе элементов или в арматуре m	Поправочный коэффициент увеличения интенсивности отказов нагруженных элементов β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой, $\lambda'_i = \lambda_{ov} \cdot m \times \beta_1 \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t_1, ч	Поправочный коэффициент уменьшения интенсивности отказов ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой, $\lambda''_i = \beta_2 \times \lambda_{ov} \cdot 10^{-9}$, 1/ч	Время нахождения элемента без нагрузки t'', ч	ВБР $P(t)$
R_{41}	Сильфон 125-8-0,3 x 6 38-12-0,2 x 4	$P_1(1500) = 0{,}98$ (согласно [3]) $P_2(1500) = 0{,}98$ (согласно [3])								$P_1(500) = \exp[(500/1500)\ln 0{,}98] = 0{,}99328$; $P_2(500) = 0{,}99328$; $P_{41} = 0{,}9866$
R_{42}	Сварное соединение	0,025	2	5	0,125	0,07	1×10^{-3}	0,125	29999,93	$P_{42} = \exp[-2 \cdot (0{,}125 \cdot 10^{-6} \times 0{,}07 + 0{,}125 \cdot 10^{9} \cdot 29999{,}93)] = 0{,}9999$
R_{43}	Резьбовое соединение	0,02	1	5	0,100	0,07	1×10^{-3}	0,1	29999,93	$P_{43} = \exp[-(0{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}07 + 0{,}1 \cdot 10^{-9} \times 29999{,}93)] = 0{,}9999$
R_{44}	Пара трения: шток-втулка, втулка-стойка, корпус-золотник	0,52	3	5	2,6	0,07	1×10^{-3}	2,6	29999,93	$P_{44} = \exp[-3(2{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}07 + 2{,}6 \times 10^{-9} \cdot 29999{,}93)] = 0{,}9999$
R_{45}	Электропривод	$P(30\,000$ ч$) = 0{,}98$ (согласно [4])								$P_{45} = 0{,}98$
R_{46}	Пара трения: шток-втулка, втулка-стойка, корпус-золотник	0,52	3	5	2,6	0,07	1×10^{-3}	2,6	29999,93	$P_{46} = \exp[-3(2{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}07 + 2{,}6 \cdot 10^{-9} \times 29999{,}93)] = 0{,}9999$
R_{31}	Сварное соед.: втулка-корпус, сильфон-кольцо-втулка; золотник-сильфон	0,025	3	5	0,125	30 000			—	$P_{31}(30000$ ч$) = \exp[-3\,(0{,}125 \cdot 10^{-6} \times 30000)] = 0{,}9888$
R_{32}	Сильфон	$P(1500$ ц$) = 0{,}98$ (согласно [3])								$P_{32}(500) = \exp\,((500/1500)\ln 0{,}98) = 0{,}99328$
R_{33}	Корпус	$P(10$ лет$) = 0{,}9995$ (согласно [6])								$P_{33}(4) = \exp[(4/10)\ln 0{,}9995] = 0{,}9998$

Окончание таблицы А.20

Обозначение на схеме	Наименование элемента, узла арматуры	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации $\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Число элементов i-го типа в группе элементов или в арматуре m	Поправочный коэффициент увеличения интенсивности отказов нагруженных элементов β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой, $\lambda'_i = \lambda_{0i} \cdot m \times \beta_1 \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t'_1, ч	Поправочный коэффициент уменьшения интенсивности отказов ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой, $\lambda''_i = \beta_2 \times \lambda_{0i} \cdot 10^{-9}$, 1/ч	Время нахождения элемента без нагрузки t'', ч	ВБР $P(t)$
R_{34}	Резьбовые соединения: шпилька-гайка, шпилька-цилиндр	0,02	2	5	0,1	30000			—	$P_{34}(30000) = \exp[-2 \cdot 0{,}1 \cdot 10^6 \times 30000] = 0{,}9940$
R_{35}	Узел затвора	$P(3000) = 0{,}999$ (согласно [5])								$P_{35} = \exp[(500/3000)\ln 0{,}999] = 0{,}9998$
R_{36}	Сильфон	$P(1500\text{ ц}) = 0{,}98$ (согласно [3])								$P_{36} = \exp[(500/1500)\ln 0{,}98] = 0{,}99328$
R_{37}	Сварное соединение: сильфон-кольцо-втулка; цилиндр-втулка	0,025	2	5	0,125	15000	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	0,125	15000	$P_{37} = \exp[-2(0{,}125 \cdot 10^{-6} \cdot 15000 + 0{,}125 \cdot 10^{-9} \cdot 15000)] = 0{,}9962$
R_{38}	Сильфон 125-8-0,32 x 6 38-12-0,2 x 4	$P_1(1500\text{ц}) = 0{,}98$ (согласно [3]) $P_2(1500\text{ц}) = 0{,}98$(согласно [3])								$P_{38} = \exp[(500/1500)\ln 0{,}98]^2 = (0{,}99328)^2 = 0{,}9866$
R_{39}	Сварное соединение: сильфон-кольца-втулка; сильфон-шток; сильфон-кольцо-цилиндр; цилиндр-втулка	0,025	4	5	0,125	15000	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	0,125	15000	$P_{39} = \exp[-4(0{,}125 \cdot 10^{-6} \cdot 15000 + 0{,}125 \cdot 10^{-9} \cdot 15000)] = 0{,}9925$
R_{310}	Резьбовое соединение: шток-втулка	0,02	1	5	0,1	15000	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	0,1	15000	$P_{310} = \exp[-(0{,}125 \cdot 10^{-6} \cdot 15000 + 0{,}125 \cdot 10^{-9} \cdot 15000)] = 0{,}9981$

2.6 Определение вероятности безотказной работы по видам отказа:

- «неоткрытие»

$P_{311} = P_{41} \cdot P_{42} \cdot P_{43} \cdot P_{44} = 0{,}9866 \cdot 0{,}9999 \cdot 0{,}9999 \cdot 0{,}9999 = 0{,}9863;$

- «незакрытие»

$P_{312} = P_{45} \cdot P_{46} = 0{,}98 \cdot 0{,}9999 = 0{,}9799;$

- негерметичность относительно внешней среды

$P_{21} = P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33} \cdot P_{34} = 0{,}9888 \cdot 0{,}9932 \cdot 0{,}9998 \cdot 0{,}9940 = 0{,}9759;$

- негерметичность в затворе

$P_{22} = P_{35} = 0{,}9998;$

- самопроизвольное открытие

$P_{23} = P_{36} \cdot P_{37} = 0{,}9932 \cdot 0{,}9962 = 0{,}9894;$

- самопроизвольное закрытие

$P_{24} = P_{38} \cdot P_{39} \cdot P_{310} = 0{,}9866 \cdot 0{,}9925 \cdot 0{,}9981 = 0{,}9773;$

- отсутствие рабочих перемещений

$P_{25} = P_{311} \cdot P_{312} = 0{,}9863 \cdot 0{,}9799 = 0{,}9665.$

2.7 ВБР клапана с электроприводом в течение ресурса 30000 ч (500 циклов), определяемая по формуле А.1, составит

$$P_{11}(t) = \prod_{i=1}^{5} P_i(30000) = 0{,}9759 \cdot 0{,}9998 \cdot 0{,}9894 \cdot 0{,}9773 \cdot 0{,}9665 = 0{,}9118;$$

3 Заключение

Расчетная вероятность безотказной работы клапана с электроприводом в течение ресурса 30000 ч (500 циклов) составляет не менее 0,91.

Расчет является ориентировочным и должен быть уточнен последующими испытаниями на надежность или сбором статистических данных о надежности клапана в процессе эксплуатации.

А.8.4 Комментарии

Полученное значение ВБР должно удовлетворять требованиям заказчика (пользователя) клапана в качестве составляющей для оценки риска и обеспечения адекватного риска.

А.9 Пример оценки возможности обеспечения технологическим процессом изготовления заданных требований к безотказности изделия

В настоящем примере рассматривается технологический процесс изготовления электроприводов, изготовляемых по ТУ.

А.9.1 Цель оценки

Целью оценки является определение возможности выполнения требований ТУ к безотказности электроприводов (ВБР не менее 0,98) при реализации технологических процессов их изготовления на заводе-изготовителе.

А.9.2 Состав работ

Оценка проводилась с применением метода АВПКО по ГОСТ 27.310.

При проведении оценки выполнены:

- анализ возможных отказов электропривода на магистральном трубопроводе с выделением критических;
- анализ возможных дефектов, приводящих к критическим отказам электропривода;
- анализ технологических процессов, применяемых на заводе, и действующей системы контроля в целях выявления операций, ошибки в которых могут привести к дефектам, вызывающим критические отказы;
- анализ статистической информации (рекламаций и данных о возвратах ОТК) о браке, допущенном при выполнении операций технологического процесса изготовления электропривода, и результатов приемо-сдаточных испытаний;
- расчет количественных значений показателей надежности исполнения технологического процесса.

А.9.3 Анализ возможных отказов электропривода с выделением критических

Анализ возможных отказов проводили при рассмотрении конструктивного исполнения конкретного электропривода.

К возможным отказам электроприводов отнесены:

- отказ блока управления;
- отсутствие рабочих перемещений;
- несоответствие крутящего момента указанному в ТУ (паспорте).

К критическим отказам элементов и узлов электропривода отнесены отказы, приводящие к отсутствию вращения выходного вала.

А.9.4 Анализ возможных дефектов элементов и узлов, приводящих к критическим отказам электропривода

На основе анализа критических отказов элементов и узлов электропривода определены их возможные дефекты, приводящие к критическим отказам, которые сведены в таблицу А.21.

Таблица А.21 — Элементы, узлы электропривода и их возможные дефекты

Элементы, узлы электропривода	Возможные дефекты
Электродвигатель	Неисправность, определяющая недостаточный крутящий момент или его отсутствие
Подшипник входного вала	Износ, излом, коррозия
Зубчатое колесо редуктора	Износ, излом, коррозия, разрушение, скол
Шестерня	Износ, излом, коррозия, разрушение, скол
Входной вал-генератор редуктора ступени II	Износ, разрушение
Промежуточные тела качения	Износ, коррозия, разрушение
Зубчатый венец	Износ, разрушение
Сепаратор — выходное звено	Износ, разрушение
Подшипник выходного вала	Износ, излом, коррозия, разрушение, скол
Присоединительное место	Коррозия, разрушение
Блок управления	Неисправность блока управления, определяющая невыполнение функции электроприводом

А.9.5 Анализ технологического процесса, применяемого на заводе-изготовителе, и действующей системы контроля

Для анализа в технологическом процессе изготовления электропривода и в действующей системе контроля выделены:

- входной контроль материалов и комплектующих;
- операции изготовления;
- операции контроля;
- сборочные операции;
- контроль сборки;
- приемо-сдаточные испытания.

Анализ технологических процессов, применяемых на заводе-изготовителе, и действующей системы технического контроля был направлен на выявление операций изготовления и контроля, ошибки в которых могут привести к дефектам, вызывающим критические отказы при эксплуатации электропривода. К основным причинам дефектов отнесены:

а) перепутывание материалов;

б) несоответствие фактических свойств и состава материалов и комплектующих указанным в сертификатах;

в) ошибки в геометрических размерах деталей и узлов;

г) скрытые дефекты деталей;

д) ошибки при сборке.

Анализ технологического процесса выполнен на основе представленных предприятием карт технологических процессов по деталям, элементам и узлам электроприводов, дефекты в которых могут привести к их критическому отказу. Сведения об анализируемых технологических операциях представлены в таблице А.22.

А.9.6 Анализ статистической информации (рекламаций и данных о возвратах ОТК, приемо-сдаточных испытаний) о браке, допущенном при выполнении операций технологического процесса изготовления электропривода

Сведения за 2009—2010 годы о рекламациях и данных о возвратах ОТК бракованных деталей, о результатах приемо-сдаточных испытаний были представлены ОТК предприятия.

По результатам анализа этих сведений выделены рекламации, связанные с критическим отказом электропривода, и бракованные детали (возврат ОТК), дефекты которых могут вызывать критические отказы при эксплуатации электропривода или привести к отрицательным результатам приемо-сдаточных испытаний. Эти сведения систематизированы и приведены в таблице А.22.

Таблица А.22 — Сведения о рекламациях и данных о возвратах ОТК

Наименование детали	Всего изготовлено деталей	В готовой продукции	Возврат входного контроля	Рекламации	Всего забраковано	Наименование технологической операции												
						токарная	фрезерная	термическая	доводежная	контрольная	внутришлифовальная	зубодолбежная	эрозионная	зубофрезерная	слесарная	координатно-расточная	круглошлифовальная	плоскошлифовальная
Электродвигатель	3572	3571	1	2	—													
Шестерня	10773	10713			60	10	1		7	38				4				
Подшипник	7142	7142	5		—													
Зубчатое колесо	3600	3571			29	18	1			5				5				
Входной вал-генератор редуктора ступени II	3589	3571			18	8	2			4	3						1	
Подшипник входного вала генератора (кольцо)	10792	10713			79	46	1			21	7						2	2
Зубчатый венец	3587	3571			16	3	4	0		3			6					
Сепаратор — выходное звено	3593	3571			22	6	5	0		10						1		
Присоединительное место	3571	3571			0													
Блок управления	3571	3571	26	30														
Всего	53780	53556	32	32	224	91	14	0	7	81	10		6	9	0	1	3	2

А.9.7 Расчет количественных значений показателей надежности исполнения технологического процесса

Расчет количественных значений показателей надежности исполнения технологического процесса (далее — расчет надежности исполнения) проводится на основе данных, полученных по результатам выполнения анализа технологических операций, сведений о рекламациях и допущенном браке.

Расчет надежности исполнения проводят исходя из следующих положений:

1) Деградационные отказы, связанные со старением материала изделия в период установленного ресурса (заданной наработки) считаются невозможными и при определении надежности изделий в данном расчете не рассматривают.

2) Серийные изделия должны изготовляться в соответствии с конструкторской документацией на основе отработанной конструкции по установившейся технологии.

3) Требования к надежности изделия устанавливаются его разработчиком и должны быть обеспечены изготовителем. Требования задаются показателями долговечности, безотказности, ремонтопригодности, сохраняемости. В условиях серийного производства контролируют показатели долговечности (ресурс) и безотказности.

Для арматуры магистрального трубопровода в качестве показателя безотказности задана вероятность безотказной работы.

4) В общем случае вероятность безотказной работы изделия P определяют по формуле

$$P = P_к \cdot P_э \cdot P_т \cdot P_и, \qquad (А.13)$$

где $P_к$ — надежность конструкции, т. е. вероятность того, что изделие, изготовленное в строгом соответствии с требованиями чертежа, при $P_э \to 1$, $P_т \to 1$, $P_и \to 1$ выполнит поставленную задачу с учетом допускаемых отклонений;

$P_э$ — эксплуатационная надежность, т. е. вероятность того, что изделие, изготовленное в строгом соответствии с требованиями чертежа, при $P_к \to 1$, $P_т \to 1$, $P_и \to 1$ выполнит поставленную задачу в заданных условиях эксплуатации с учетом непредусмотренных случайных отклонений параметров и режимов эксплуатации;

$P_т$ — надежность реализации конструкции схемой технологического процесса, т. е. вероятность того, что изделие, изготовленное в строгом соответствии с установленным технологическим процессом, при $P_к \to 1$, $P_э \to 1$, $P_и \to 1$, не откажет;

$P_и$ — надежность исполнения или реализации технологического процесса, т. е. вероятность того, что при $P_к \to 1$, $P_э \to 1$, $P_т \to 1$, изделие в течение установленного ресурса (заданной наработки) не откажет из-за ошибок, допущенных в процессе его изготовления и не обнаруженных контролем.

5) В настоящем расчете рассматривают только производственные отказы, т. е. отказы, возникающие вследствие дефектов изготовления.

6) Надежность изделия, обеспечиваемая при изготовлении (производственная надежность), определяется надежностью исполнения (реализации) технологического процесса, т. е. вероятностью того, что изделие в течение установленного ресурса (заданной наработки) не откажет из-за ошибок, допущенных в процессе его изготовления и не обнаруженных контролем.

Цель расчета

Целью расчета является подтверждение возможности обеспечения на этапе изготовления электропривода надежности, требуемой в ТУ.

Задача расчета

Задачей расчета является определение вероятности $P_и$ того, что изделие в течение установленного ресурса (заданной наработки) не откажет из-за дефектов, допущенных в процессе его изготовления и не обнаруженных при контроле.

Принимаемые в расчете допущения

В данном расчете приняты следующие допущения:

1) $P_к \to 1$, т. е. конструкция изделия отработана;

2) $P_т \to 1$, т. е. изделие изготовляется по установившейся технологии;

3) $P_к \to 1$, т. е. эксплуатация осуществляется в соответствии с требованиями эксплуатационной технической документации;

4) при $P_к \to 1$, $P_э \to 1$, $P_т \to 1$, $P = P_и$, т. е. надежность изделия есть надежность исполнения;

5) $P_и$ отличается от единицы в том случае, если возможны нарушения технологического процесса и эффективность контроля меньше единицы;

6) нарушения технологического процесса связаны с участием человека в процессе производства и могут быть только случайными; вследствие нарушений технологического процесса возникают дефекты изготовления; используемые в производстве материалы и комплектующие могут иметь дефекты;

7) рассматривают только дефекты, приводящие к критическому отказу;

8) изготовление выполнено без явно обнаруживаемых производственных дефектов и обеспечивает на момент испытаний работоспособность изделия;

9) допущенные при изготовлении дефекты, не обнаруженные контролером, приводят к отказу изделия в течение установленного ресурса (заданной наработки), для которой в ТУ указана вероятность безотказной работы. По факту такого отказа эксплуатирующая организация оформляет и направляет на завод-изготовитель акт рекламации.

Исходные данные

Исходными данными при выполнении расчета являются:

1) карта технологического процесса с указанием выполняемых операций изготовления и операций контроля;

2) результаты входного контроля материалов и комплектующих, данные ОТК о дефектах, допущенных при изготовлении электропривода, результаты приемо-сдаточных испытаний;

3) результаты анализа рекламаций, с указанием количества дефектов (брака) допущенного при изготовлении электропривода и не обнаруженного ОТК;

4) результаты анализа дефектов, допущенных при выполнении операций технологического процесса, по их влиянию на возможные отказы электропривода;

5) количество деталей (узлов) электропривода, изготовленных за рассматриваемый период.

Алгоритм и результаты расчета

Алгоритм, основные зависимости и соотношения, используемые в расчете, приведены в разделе 12. Результаты расчета надежности исполнения операций технологического процесса представлены в таблице А.23.

По результатам расчетов, ВБР деталей электроприводов за назначенный ресурс, обеспечиваемая технологическим процессом предприятия, составляет не менее 0,989. Исполнение технологического процесса изготовления с учетом надежности комплектующих (покупных изделий) обеспечивает ВБР электроприводов не менее 0,97.

Анализ надежности контроля результатов технологических операций показал, что надежность контроля (ОТК) по всем операциям изготовления близка к единице.

Вместе с тем с учетом рекламаций (2 рекламации — по электродвигателям, 30 рекламаций — по блокам управления, 1 рекламация — по клеммной колодке), поступивших от организаций, эксплуатирующих электроприводы, надежность операций контроля по рассматриваемым изделиям оценивается величиной 0,89. В рассматриваемой ситуации это значение определяется недостаточностью входного контроля по покупным (комплектующим) изделиям.

Оценка результатов расчета

1 Расчет выполнен для технологических операций изготовления и контроля по каждой детали, определяющей возможный критический отказ электропривода.

2 Расчет надежности исполнения технологических операций показал, что при их исполнении допускается значительное количество брака (см. таблицу А.22), снижающее в целом эффективность производства и приводящее к дополнительным экономическим затратам предприятия.

3 Надежность исполнения технологического процесса при низкой надежности исполнения технологических операций изготовления обеспечена в значительной мере надежностью контроля их исполнения, что определило относительно малое число рекламаций на продукцию предприятия.

4 Основная часть рекламаций по электроприводам приходится на покупные изделия, в частности на блоки управления, что требует большего внимания к их входному контролю.

5 Надежность исполнения технологического процесса, определяемая операциями изготовления и контроля, обеспечивает требуемую в ТУ безотказность электроприводов.

В результате расчета установлено, что применяемые на заводе технологические процессы, система контроля и система качества изготовления обеспечивают надежность (безотказность) электроприводов, равную значению не менее 0,97.

Таблица А.23 — Результаты расчета надежности исполнения операций технологического процесса

Наименование деталей	Надежность изготовления детали	Надежность исполнения операций									
		токарная	фрезерная	долбежная	контрольная	внутришлифовальная	эррозионная	зубофрезерная	координатнорасточная	круглошлифовальная	плоскошлифовальная
Электродвигатель	0,9997										
Шестерня	0,9944	0,9991	0,99991	0,99935	0,9965			0,99963			
Подшипник	0,9996										
Зубчатое колесо	0,992	0,995	0,9997		0,9986			0,9986			
Входной вал-генератор редуктора ступени II	0,995	0,9978	0,9994		0,99889	0,9992				0,9998	
Подшипник входного вала-генератора	0,993	0,9957	0,99991		0,9981	0,9994				0,9998	0,9998
Зубчатый венец	0,996	0,9992	0,9989		0,99916		0,9983				
Сепаратор — выходное звено	0,994	0,9983	0,9986		0,9972				0,9998		
Присоединительное место	0,999995										
Блок управления	0,992										
Итого — надежность изготовления деталей	0,989	0,9943	0,998	0,9998	0,998	0,9997	0,9998	0,9998	0,99997	0,99992	0,99995
Итого — надежность изготовления с комплектующими	0,97										

Приложение Б
(справочное)

Примеры опасностей, опасных ситуаций и опасных событий

Б.1 Общие сведения

В настоящем приложении в различных таблицах приведены примеры опасностей, связанных с отказами (см. таблицу Б.1А) и не связанных с отказами (см. таблицу Б.1Б), опасных ситуаций (см. таблицу Б.2) и опасных событий (см. таблицу Б.4), которые позволяют лучше осмыслить эти понятия и могут быть использованы в качестве образца лицами, занимающимися оценкой риска (см. раздел 8).

Списки опасностей, опасных ситуаций и опасных событий, содержащиеся в настоящем приложении, не являются ни исчерпывающими, ни приоритетными. Проектировщик должен в дополнение к этим спискам идентифицировать и задокументировать другие опасности, опасные ситуации и опасные события, характерные для конкретной машины.

Для каждого типа или группы опасностей в таблицах Б.1А и Б.1Б (далее — таблицы Б.1), кроме того, приведены ссылки на соответствующие пункты ГОСТ Р ИСО 12100-1 и (или) ГОСТ Р ИСО 12100-2.

Таблица Б.1А — Опасности, связанные с отказами

Тип или группа	Примеры опасностей			Пункт стандарта	
	Отказ	Источник[а)]	Последствия[б)]	ГОСТ Р ИСО 12100-1	ГОСТ Р ИСО 12100-2
1 Механические опасности	- Разрушение - Потеря герметичности по отношению к внешней среде - Невыполнение функции - Несоответствие характеристик (параметров)	- Ускорение, торможение (кинетическая энергия) - Приближение движущейся части к неподвижной - Режущие части - Эластичные элементы - Падающие объекты - Гравитация (наколенная энергия) - Высокое давление - Подвижность машины - Движущиеся элементы - Вращающиеся элементы - Устойчивость - Вакуум	- Сбивание - Сбрасывание - Раздавливание - Порез или потеря конечности - Затягивание или захват - Запутывание - Трение или истирание - Удар - Инъекция - Разрезание - Падение - Прокалывание - Удушение	4.2.1 4.2.2 4.10	4.2.1 4.2.2 4.3 а) 4.3 б) 4.6 4.10 5.1 5.2 5.3 5.5.2 5.5.4 5.5.5 5.5.6 6.1 6.3 6.4, 6.5
2 Электрические опасности	- Разрушение - Несоответствие характеристик (параметров)	- Искра - Электромагнитные явления - Электростатические явления - Токоведущие части - Перегрузка - Части, оказывающиеся под напряжением при тех или иных условиях - Короткое замыкание - Тепловое излучение	- Ожог - Химические эффекты - Влияние на медицинские имплантаты - Электротравма - Падение, сбрасывание - Шок - Взрыв - Пожар - Людские потери - Материальные потери - Вред окружающей среде	4.3	4.9 5.2 5.3.2 5.5.4 6.4 6.5
3 Тепловые опасности	- Разрушение - Потеря герметичности по отношению к внешней среде - Невыполнение функции - Несоответствие характеристик	- Взрыв - Пламя - Объекты или материалы с высокой или низкой температурой - Излучение от источников тепла	- Ожог - Обезвоживание - Дискомфорт - Обморожение - Поражение тепловым излучением - Ошпаривание	4.4	4.4б) 4.8.4 5.2.7 5.3.2.1 5.4.5

Продолжение таблицы Б.1А

Тип или группа	Примеры опасностей			Пункт стандарта	
	Отказ	Источник[а)]	Последствия[б)]	ГОСТ Р ИСО 12100-1	ГОСТ Р ИСО 12100-2
4 Опасности, связанные с шумом	- Разрушение - Потеря герметичности, в том числе в затворе - Невыполнение функции - Несоответствие характеристик (параметров)	- Порообразование - Вентиляционная система - Утечка газов с большой скоростью - Производственный процесс (штамповка, резка и др.) - Движущиеся части - Выскабливание поверхностей - Несбалансированные вращающиеся части - Пневматические свистки - Изношенные детали	- Дискомфорт - Потеря осведомленности - Потеря баланса - Полная потеря слуха - Стресс - Шум в ушах - Усталость - Любые другие (напр., механические или электрические) последствия взаимодействия со средствами речевой связи и звуковыми сигналами	4.5	4.2.2 4.3в) 4.4в) 4.8.4 5.1 5.3.2.1 5.4.2 6.3 6.5.1в)
5 Опасности, связанные с вибрацией	- Несоответствие характеристик (параметров)	- Порообразование - Рассогласование движущихся частей - Мобильное оборудование - Выскабливание поверхностей - Несбалансированные вращающиеся части - Вибрационное оборудование - Изношенные детали	- Дискомфорт - Заболевания нижней части спины - Неврологические расстройства - Костно-суставные расстройства - Травмы позвоночника - Сосудистые заболевания	4.6	4.2.2 4.3в) 4.8.4 5.3.2.1 5.4.3 6.5.1в)
6 Опасности, связанные с радиацией	- Разрушение - Потеря герметичности по отношению к внешней среде - Невыполнение функции	- Источники ионизирующего излучения - Низкочастотное электромагнитное излучение - Оптическое излучение (инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое), включая лазеры - Радиочастотное электромагнитное излучение	- Ожог - Повреждение глаз и кожи - Влияние на репродуктивную функцию - Генетические мутации - Головная боль, бессонница и др. - Вред окружающей среде	4.7	4.2.2 4.3в) 5.3.2.1 5.4.5 6.5.1в)
7 Эргономические опасности	- Несоответствие характеристик (параметров)	- Усилия - Мигание, ослепление, затенение, стробоскопический эффект - Местное освещение - Умственные перегрузки или недостаточные нагрузки - Неудобные позы - Повторяющиеся действия - Видимость	- Дискомфорт - Усталость - Расстройства опорно-двигательного аппарата - Стресс - Любые другие (напр., механические или электрические) последствия ошибок человека	4.9	4.2.1 4.7 4.8 4.11.8 5.2.1 5.3.2.1
8 Промышленные опасности	- Разрушение - Потеря герметичности - Несоответствие характеристик (параметров)	- Невыполнение функции	- Невыполнение функции (задачи) системой (процессом) - Авария - Взрыв - Пожар - Вред окружающей среде - Людские потери - Материальные потери	—	—

Окончание таблицы Б.1А

Тип или группа	Примеры опасностей			Пункт стандарта	
	Отказ	Источник[а)]	Последствия[б)]	ГОСТ Р ИСО 12100-1	ГОСТ Р ИСО 12100-2
9 Сочетание опасностей	- Любой критический отказ (например, разрушение)	Например, - Невыполнение функции + Высокое давление + Движущиеся элементы	- Невыполнение функции (задачи) системой (процессом) + Взрыв + Пожар + Людские потери + Материальные потери	4.11	—

[а)] Один и тот же источник опасности может иметь несколько возможных последствий.

[б)] Для каждого типа или группы опасностей некоторые возможные последствия могут быть связаны с несколькими источниками опасности.

Таблица Б.1Б — Опасности, не связанные с отказами

Тип или группа	Примеры опасностей		Пункт стандарта	
	Источник[а)]	Последствия[б)]	ГОСТ Р ИСО 12100-1	ГОСТ Р ИСО 12100-2
1 Механические опасности	- Ускорение, торможение (кинетическая энергия) - Угловые части - Приближение движущейся части к неподвижной - Режущие части - Эластичные элементы - Падающие объекты - Гравитация (накопленная энергия) - Высота над землей - Высокое давление - Подвижность машины - Движущиеся элементы - Вращающиеся элементы - Неровная или скользкая поверхность - Острые кромки - Устойчивость - Вакуум	- Сбивание - Сбрасывание - Раздавливание - Порез или потеря конечности - Затягивание или захват - Запутывание - Трение или истирание - Удар - Инъекция - Разрезание - Соскальзывание или падение - Прокалывание - Удушение	4.2.1 4.2.2 4.10	4.2.1 4.2.2 4.3а) 4.3б) 4.6 4.10 5.1 5.2 5.3 5.5.2 5.5.4 5.5.5 5.5.6 6.1 6.3 6.4 6.5
2 Электрические опасности	- Искра - Электромагнитные явления - Электростатические явления - Токоведущие части - Недостаточное расстояние до токоведущих частей под высоким напряжением - Перегрузка - Части, оказывающиеся под напряжением при тех или иных условиях - Короткое замыкание - Тепловое излучение	- Ожог - Химические эффекты - Влияние на медицинские имплантаты - Смертельная электротравма - Падение, сбрасывание - Пожар - Выступание расплавленных частей - Шок	4.3	4.9 5.2 5.3.2 5.5.4 6.4 6.5
3 Тепловые опасности	- Взрыв - Пламя - Объекты или материалы с высокой или низкой температурой - Излучение от источников тепла	- Ожог - Обезвоживание - Дискомфорт - Обморожение - Поражение тепловым излучением - Ошпаривание	4.4	4.4б) 4.8.4 5.2.7 5.3.2.1 5.4.5

Продолжение таблицы Б.1Б

Тип или группа	Примеры опасностей		Пункт стандарта	
	Источник[а)]	Последствия[б)]	ГОСТ Р ИСО 12100-1	ГОСТ Р ИСО 12100-2
4 Опасности, связанные с шумом	- Порообразование - Вентиляционная система - Утечка газов с большой скоростью - Производственный процесс (штамповка, резка и др.) - Движущиеся части - Выскабливание поверхностей - Несбалансированные вращающиеся части - Пневматические свистки - Изношенные детали	- Дискомфорт - Потеря осведомленности - Потеря баланса - Полная потеря слуха - Стресс - Шум в ушах - Усталость - Любые другие (напр., механические или электрические) последствия взаимодействия со средствами речевой связи и звуковыми сигналами	4.5	4.2.2 4.3в) 4.4в) 4.8.4 5.1 5.3.2.1 5.4.2 6.3 6.5.1в)
5 Опасности, связанные с вибрацией	- Порообразование - Рассогласование движущихся частей - Мобильное оборудование - Выскабливание поверхностей - Несбалансированные вращающиеся части - Вибрационное оборудование - Изношенные детали	- Дискомфорт - Заболевания нижней части спины - Неврологические расстройства - Костно-суставные расстройства - Травмы позвоночника - Сосудистые заболевания	4.6	4.2.2 4.3в) 4.8.4 5.3.2.1 5.4.3 6.5.1в)
6 Опасности, связанные с радиацией	- Источники ионизирующего излучения - Низкочастотное электромагнитное излучение - Оптическое излучение (инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое), включая лазеры - Радиочастотное электромагнитное излучение	- Ожог - Повреждение глаз и кожи - Влияние на репродуктивную функцию - Генетические мутации - Головная боль, бессонница и др.	4.7	4.2.2 4.3в) 5.3.2.1 5.4.5 6.5.1в)
7 Опасности, связанные с материалами или веществами	- Аэрозоли - Биологические и микробиологические (вирусы, бактерии) средства - Горючие вещества - Пыль - Взрывчатые вещества - Волокна - Жидкости - Дым - Огнеопасные вещества - Газы - Туман - Окислители	- Затруднение дыхания, удушение - Рак - Коррозия - Влияние на репродуктивную функцию - Взрыв - Пожар - Инфекция - Мутация - Отравление - Повышение чувствительности	4.8	4.2.2 4.3б) 4.3в) 4.4а) 4.4б) 5.1 5.3.2.1 5.4.4 6.5.1в) 6.5.1ж)
8 Эргономические опасности	- Доступ - Дизайн и расположение индикаторов и средств визуализации - Дизайн, расположение и возможность идентификации управляющих устройств - Усилия - Мигание, ослепление, затенение, стробоскопический эффект - Местное освещение - Умственные перегрузки или недостаточные нагрузки - Неудобные позы - Повторяющиеся действия - Видимость	- Дискомфорт - Усталость - Расстройства опорно-двигательного аппарата - Стресс - Любые другие (напр., механические или электрические) последствия ошибок человека	4.9	4.2.1 4.7 4.8 4.11.8 5.2.1 5.3.2.1

Окончание таблицы Б.1Б

Тип или группа	Примеры опасностей		Пункт стандарта	
	Источник[а)]	Последствия[б)]	ГОСТ Р ИСО 12100-1	ГОСТ Р ИСО 12100-2
9 Опасности, связанные с условиями окружающей среды, в которой эксплуатируется машина	- Пыль и туман - Электромагнитные помехи - Молнии - Влажность - Загрязнения - Снег - Температура - Вода - Ветер - Недостаток кислорода	- Ожог - Недомогания - Соскальзывание или падение - Удушение - Любые другие последствия воздействия источников опасности на машину, ее части	4.2	4.6 4.11.11 5.2.1 6.5.1б)
10 Сочетание опасностей	- Например, повторяющиеся действия + усилия + высокая температура окружающей среды	- Например, обезвоживание, потеря осведомленности, тепловые удары	4.11	—

[а)] Один и тот же источник опасности может иметь несколько возможных последствий.

[б)] Для каждого типа или группы опасностей некоторые возможные последствия могут быть связаны с несколькими источниками опасности.

Б.2 Примеры опасностей

Опасности, перечисленные в таблицах Б.1, сгруппированы по типам (механические, электрические и т. д.). Для большей информативности в таблице имеется две дополнительные графы, в которых перечислены соответствующие источники опасности и возможные их последствия.

Число граф в таблицах Б.1, которые необходимо использовать, зависит от того, насколько подробно необходимо детализировать идентифицированную опасность. В некоторых случаях достаточно использовать только одну из граф таблиц Б.1, особенно если опасности сосредоточены в одной и той же зоне и могут быть объединены в одну группу с точки зрения защитных мер. Состав используемых граф определяется тем, какая информация (источник опасности или характер ее возможных последствий) наиболее важна для разработки соответствующих защитных мер. Тем не менее необходимо задокументировать все опасности, даже если связанный с ними риск представляется в достаточной степени сниженным предложенными защитными мерами. В противном случае могут быть не учтены незадокументированные опасности, риск которых был в достаточной степени снижен в ходе мер по снижению риска других опасностей.

Если при описании опасности используют более одной графы таблиц Б.1, не следует читать их по строкам. Следует выбирать и совмещать необходимые слова так, чтобы получилось достаточно понятное описание опасности. Например:

- раздавливание движущимися частями;
- раздавливание вследствие нестабильности машины или ее части;
- поражение электрическим током или смертельная электротравма при взаимодействии с токопроводящими частями, которые оказались под напряжением в результате неисправности;
- полная потеря слуха из-за длительного воздействия шума, возникающего при штамповке;
- заболевание дыхательной системы из-за вдыхания вредных веществ;
- заболевание опорно-двигательного аппарата, связанное с неудобными позами и повторяющимися движениями;
- ожог при контакте с горячими материалами;
- заболевание кожи, вызванное попаданием на кожу вредных веществ.

Б.3 Примеры опасных ситуаций

Опасные ситуации — это такие обстоятельства, при которых человек подвергается воздействию по крайней мере одной опасности. Это воздействие часто является следствием выполнения определенных задач с использованием машины.

Примеры некоторых опасных ситуаций:

а) работа вблизи движущихся частей;

б) воздействие выдвигающихся частей;

в) работа под грузом;

г) работа вблизи объектов или материалов, имеющих экстремальную температуру;

д) работа в условиях повышенного уровня шума.

На практике опасные ситуации часто можно описать в терминах выполняемых задач либо их выполнения (ручная загрузка или выгрузка заготовок из пресса, диагностика под напряжением и др.).

При описании опасной ситуации необходимо убедиться в том, что она четко определена посредством имеющейся информации (выполняемая задача, опасность, опасная зона).

В таблице Б.2 приведен список задач, выполнение которых может привести к возникновению опасной ситуации при условии воздействия одной или нескольких опасностей, перечисленных в таблицах Б.1.

Таблица Б.2

Этапы жизненного цикла машины	Примеры задач
Транспортировка	- Подъем - Погрузка - Упаковка - Транспортировка - Разгрузка - Распаковка
Сборка и монтаж. Ввод в эксплуатацию	- Регулировка машины и ее компонентов - Сборка машины - Подключение систем утилизации (например, системы отвода отработавших газов, системы очистки сточных вод) - Подключение систем питания (например, системы электроснабжения, системы подачи сжатого воздуха) - Демонстрация - Подача рабочих жидкостей (например, смазка, клей), наполнение или загрузка соответствующих резервуаров - Ограждение - Закрепление, установка на анкерные болты - Подготовка к монтажу (фундаментные работы, виброизоляторы) - Запуск машины без нагрузки - Испытания - Испытания с нагрузкой и максимальной нагрузкой
Настройка. Обучение/программирование и (или) изменение технологического процесса	- Регулировка и настройка защитных устройств и других компонентов - Регулировка и настройка или проверка функциональных параметров машины (например, скорость, давление, усилие, пределы перемещения) - Зажатие/крепление заготовки - Подача сырья, наполнение или загрузка соответствующих резервуаров - Функциональные проверки и испытания - Установка или замена инструментов, настройка - Проверка работы программ - Проверка готовой продукции
Эксплуатация	- Зажатие/крепление заготовки - Проверка/осмотр - Управление машиной - Подача сырья, наполнение или загрузка соответствующих резервуаров - Незначительная регулировка и настройка функциональных параметров машины (например, скорость, давление, усилие, пределы перемещения) - Небольшие вмешательства в ход работы (например, удаление отходов, устранение заклиниваний, уборка рабочего места) - Работа с органами управления - Перезапуск машины после останова/вмешательства - Контроль за работой машины - Проверка готовой продукции
Чистка. Техническое обслуживание	- Регулировки - Чистка, дезинфекция - Демонтаж/снятие частей, компонентов, устройств машины - Уборка помещений - Изоляция и рассеяние энергии - Смазка - Замена инструмента - Замена изношенных частей - Сброс

Окончание таблицы Б.2

Этапы жизненного цикла машины	Примеры задач
Чистка. Техническое обслуживание	- Восстановление уровня жидкостей - Проверка деталей, компонентов и устройств машины
Поиск и устранение неисправностей	- Регулировки - Демонтаж/снятие частей, компонентов, устройств машины - Поиск неисправностей - Изоляция и рассеяние энергии - Восстановление функций управляющих и защитных устройств - Восстановление после заклинивания - Ремонт - Замена деталей, компонентов и устройств машины - Спасение застрявших людей - Сброс - Проверка деталей, компонентов и устройств машины
Вывод из эксплуатации. Демонтаж	- Отключение и рассеяние энергии - Демонтаж - Подъем - Погрузка - Упаковка - Транспортировка - Разгрузка
Примечание — Перечисленные работы могут относиться как к машине в целом, так и к отдельным ее частям.	

Б.4 Примеры опасных событий

В таблице Б.3 приведены примеры опасных событий, которые могут иметь место при взаимодействии с машиной.

Опасное событие может быть следствием различных причин. Например, контакт с движущимися частями вследствие неожиданного запуска машины может быть вызван непреднамеренным включением управляющего устройства либо неисправностью системы управления.

Любая из причин, в свою очередь, может повлечь за собой другое событие либо сочетание (цепочку) событий.

Таблица Б.3

Источник опасности	Опасное событие	Пункт (пункты) ГОСТ Р ИСО 12100-2 (полезные ссылки)
Форма и (или) наружное покрытие доступных частей машины	- Контакт с неровными поверхностями - Контакт с острыми кромками и углами, выступающими частями	4.2.1
Движущиеся части машины, в том числе при отказе	- Контакт с движущимися частями - Контакт с концами вращающихся частей	4.2, 4.14, 4.15 5.1—5.3 5.5.2—5.5.4 6.3—6.5
Кинетическая и (или) потенциальная энергия (гравитация) машины или ее частей, инструментов, используемых, обрабатываемых или транспортируемых материалов	- Отказ [(разрушение, потеря герметичности, несоответствие характеристик (параметров)] - Падение или подъем объектов	4.3, 4.5 4.10 — 4.12 5.2.1, 5.2.2, 5.2.7 5.3 5.5.2, 5.5.4, 5.5.5 6.4, 6.5
Устойчивость машин и/или ее частей	- Потеря устойчивости	4.3а) и 4.3б) 4.6 5.2.6, 5.2.7 6.3—6.5

Окончание таблицы Б.3

Источник опасности	Опасное событие	Пункт (пункты) ГОСТ Р ИСО 12100-2 (полезные ссылки)
Механическая сила частей машины, инструмента и т. п.	- Отказ (разрушение, потеря герметичности)	4.3а) и 4.3б) 4.11, 4.13 5.2, 5.2.7 5.3.1—5.3.3 5.5.2, 6.4, 6.5
Пневматическое и гидравлическое оборудование, в том числе из-за отказа	- Перемещение движущихся элементов - Утечка жидкостей под высоким давлением - Неконтролируемые движения - Отказ (перемещение движущихся элементов, утечка жидкостей под высоким давлением)	4.3а) и 4.3б) 4.10, 4.13 5.2.7 5.3.1—5.3.3 5.5.4, 6.4, 6.5
Электрическое оборудование, в том числе из-за отказа	- Непосредственный контакт - Электрический пробой - Электрическая дуга - Пожар - Косвенный контакт - Короткое замыкание - Отказ [разрушение, несоответствие характеристик (параметров)]	4.4а) 4.9, 4.12 5.2, 5.3 5.5.4 6.4, 6.5
Система управления, в том числе из-за отказа	- Падение или подъем движущихся частей машины либо заготовок, зажатых в ней - Невозможность остановить движущиеся части - Движения, имеющие место в результате запрета работы (отключения или поломки) защитных устройств - Неконтролируемые перемещения (включая изменение скорости) - Непреднамеренный/неожиданный запуск - Другие опасные события, возникающие из-за поломок либо недостатков конструкции системы управления - Отказ (разрушение, несоответствие характеристик (параметров))	4.5 4.11—4.13 5.5.2—5.5.4 6.3—6.5
Материалы и вещества либо физические факторы (температура, шум, вибрация, радиация и воздействия окружающей среды), в том числе из-за отказа машины (оборудования)	- Контакт с объектами, находящимися при высокой или низкой температурах - Выделение вредных веществ - Выделение опасного уровня шума - Выделение уровня шума, который может быть помехой для работы голосовой связи или звуковых сигналов - Выделение опасного уровня вибрации - Наличие опасных полей излучения - Жесткие условия окружающей среды - Отказ [разрушение, несоответствие характеристик (параметров)]	4.2.2 4.3в) 4.4 5.1 5.3.2 5.4 6.3—6.5
Конструкция рабочей станции и (или) рабочего процесса	- Чрезмерные усилия - Человеческие ошибки/неправильная реакция (непреднамеренная и/или умышленная, вызванная конструкцией) - Потеря прямой видимости рабочей области - Болезненные или утомительные позы - Повторяющиеся с большой частотой движения	4.2.1 4.7, 4.8 4.11.8 5.5.5, 5.5.6 6.3—6.6

Приложение В
(справочное)

Примеры применения процесса оценки и снижения риска

В.1 Общие сведения

Целью настоящего приложения является демонстрация процесса оценки и снижения риска на практическом примере проектирования одношпиндельного вертикального строгально-калевочного станка в соответствии с общими принципами, изложенными в настоящем стандарте и стандартах ГОСТ Р ИСО 12100. Пример не претендует на полноту.

В данном примере не ставится цель полностью охватить конструкцию типового образца данной машины. Он не является моделью для производства подобных оценок. Данный пример — это попытка предоставить достаточное количество информации для формирования общих представлений о применении принципов, изложенных в настоящем стандарте и стандартах ГОСТ Р ИСО 12100.

В В.2 и В.3 рассматриваются все этапы жизненного цикла машины. В В.4 рассматривается только этап эксплуатации машины, в частности ее настройка и применение.

В.2 Информация для оценки риска

Примечание — См. 5.2.4.

В.2.1 Начальные технические условия

В.2.1.1 Общие сведения

Конструкция машины разработана в соответствии с начальными техническими условиями, представленными в В.2.1.2—В.2.1.4.

В.2.1.2 Базовая информация о машине

К базовой информации о машине относятся следующие сведения:

- стационарный одношпиндельный вертикальный фрезерный станок;
- для применения внутри помещений;
- эксплуатируется одним оператором;
- ручная подача;
- электрический.

В.2.1.3 Работы, выполняемые на машине

Данная машина предназначена для изменения профиля заготовок из дерева или других материалов (пробка, ДСП, фибровый картон, твердые пластики) с квадратным или прямоугольным сечением путем формования, фальцевания и проточки.

Работа на данной машине производится следующим образом:

- *Работа по прямой*

Режим обработки заготовки, при котором одна из ее граней находится в контакте со столешницей, а другая — с упором. При этом обработку начинают у одного из концов заготовки и продолжают до другого ее конца.

- *Работа по прямой с остановками*

То же, но обработку осуществляют только на определенной части заготовки.

- *Работа по кривой*

В этом режиме работы одна из поверхностей заготовки прижата к столешнице (или зажата в тисках, установленных на столешнице), а другая находится в контакте с вертикальной направляющей, которая удерживается на станке с помощью болтов или шарнира.

Машина не предназначена для выточки шпоночных пазов.

К обработке допускают только деревянные заготовки, очищенные от посторонних объектов (в том числе гвоздей).

Машина не предназначена для обработки металлов.

В работе используют коммерчески доступный стандартный режущий инструмент.

В целях обеспечения возможности работ с различными инструментами и материалами частота вращения шпинделя машины может меняться.

В целях обеспечения возможности изменения высоты режущего инструмента вертикальное положение шпинделя может быть отрегулировано.

Все регулируемые детали машины (изменение инструмента, скорости) могут быть настроены вручную.

В.2.1.4 Описание концепции машины

Примечание — См. рисунок В.1.

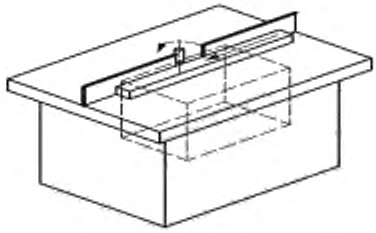


Рисунок В.1 — Одношпиндельный вертикальный строгально-калевочный станок

Фрезерование осуществляют с помощью режущего инструмента, установленного на вертикальном шпинделе. Шпиндель вращается только в одном направлении и может подниматься и опускаться при помощи маховика (шпиндельной головки). Шпиндель приводится в движение электрическим двигателем и набором шкивов (привод) и может вращаться с одной из четырех фиксированных скоростей (см. ниже о частотах вращения шпинделя).

Шпиндельная головка и привод закреплены на чугунной столешнице, которая располагается на шкафу из стали. Столешница и шкаф обеспечивают надлежащую опору для заготовки, а их высота подобрана так, чтобы оператор во время работы находился в удобном прямом положении.

Для управления положением заготовки во время работы машина оснащена набором направляющих.

Выбор частоты вращения шпинделя осуществляют вручную перемещением приводного ремня с одного шкива на другой.

В.2.2 Опыт применения

В соответствии со статистической информацией наиболее частым несчастным случаем является контакт с инструментом, который имеет место из-за отдачи заготовки и движения инструмента рывками, главным образом во время работы по прямой. При этом наиболее часто причиной несчастного случая является отсутствие защитных щитков либо их несоответствие требованиям, а также отсутствие фальшзаграждений, струбцин, оправок или стопоров.

Менее часто возникают и другие несчастные случаи, связанные с ударами при отдаче заготовки, отделением от нее и инструмента опилок или частиц, а также возгоранием деревянной пыли (опилок).

Вред здоровью может быть нанесен также из-за выделений и используемых материалов, в том числе:

- шум, сопровождающий фрезерование;
- деревянная пыль;
- дым или вещества, выделяемые при обработке деревянных материалов с пропиткой.

В.2.3 Нормативные ссылки и технические условия

Первоначально рассматривались требования стандартов по обеспечению безопасности машины: ГОСТ Р ИСО 12100-2, ГОСТ Р ИСО 13849-1 и др. Кроме того, рассматривались различные ТУ для машин подобного класса.

Примечание — При оценке могут учитываться требования и других документов, в том числе — национальных нормативных документов и стандартов. В данном примере они не рассматривались.

В.2.4 Предварительный вариант конструкции машины

Учитывая все перечисленные выше сведения, были предложены следующие технические параметры:

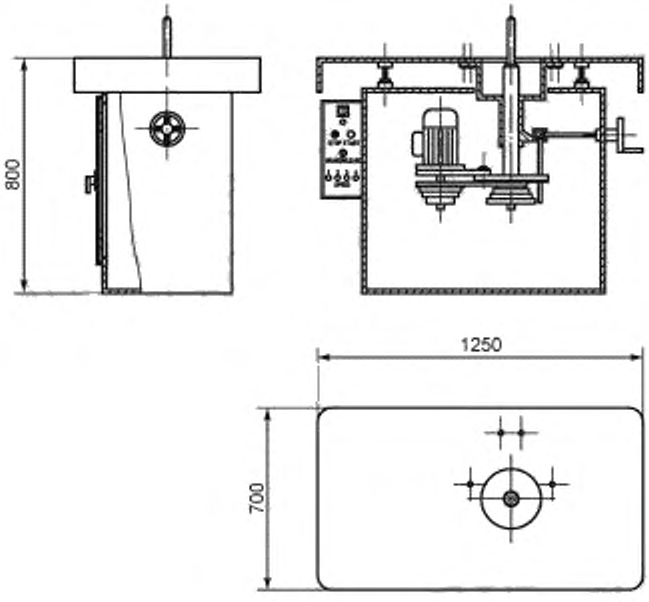
- напряжение питания (частота, число фаз, номинальное напряжение): 50 Гц/3/400 В;
- заземление источника питания: система ТТ;
- питание двигателя: 4 кВт;
- размеры столешницы: 1250 × 700 мм;
- параметры шпинделя: диаметр — 50 мм; полезная длина — 180 мм; диапазон вертикального перемещения (регулируется вручную) — 200 мм;
- частоты вращения шпинделя (изменяют вручную изменением положения приводного ремня, в зависимости от материала, диаметра и высоты инструмента): 3000, 4500, 6000, 7500 об/мин;
- диаметр инструмента: например, 120—220 мм (максимальный диаметр инструмента).

Примечание — Другие технические характеристики станка (покрытие столешницы, плоскостность, выбег шпинделя и др.) не важны для данного примера.

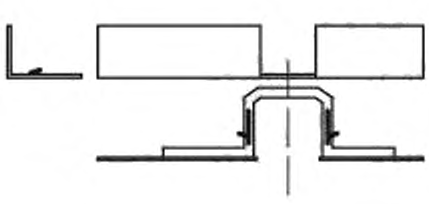
Учитывая изложенное, предложен следующий предварительный вариант конструкции станка (см. рисунок В.2).

Машина состоит из стального шкафа и расположенной на нем чугунной столешницы. Внутри шкафа находится исполнительный механизм (электрический двигатель), редуктор и головка шпинделя (механизм вертикального перемещения и вращения шпинделя).

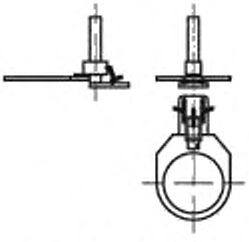
Размеры в миллиметрах



а) Общий вид конструкции



б) Направляющая для работы по прямой



в) Направляющая для работы по кривой

Рисунок В.2 — Предварительный вариант конструкции

В шкафу имеется отверстие для доступа к редуктору для изменения частоты вращения шпинделя. Это отверстие закрывается дверью.

Столешница служит горизонтальной опорой для обрабатываемой заготовки. Шпиндель проходит через специальное отверстие в ней. Машина оснащена направляющими, предназначенными для выполнения различных операций.

Размеры шпинделя подобраны из соображений совместимости с наиболее распространенными инструментами стандартных размеров.

Исполнительный механизм представляет собой асинхронный трехфазовый двигатель напряжением 400 В и мощностью 4 кВт. В конструкцию двигателя входит тормозной механизм, который срабатывает при каждом нажатии на кнопку останова и обеспечивает быстрое прекращение вращения шпинделя. При выполнении некоторых операций (например, при смене частоты вращения) тормозной механизм может быть отключен. Привод передает мощность на шпиндель посредством шкивов и трапециевидного приводного ремня.

На двигателе и шпинделе имеется два набора из четырех шкивов, благодаря которым шкив может вращаться с четырьмя различными частотами вращения. Рабочую частоту вращения выбирают вручную перемещением приводного ремня с одного шкива на другой. Во время этой операции двигатель и связанные с ним шкивы легко перемещаются с помощью рычага (не требуется использовать специальные инструменты). Механизм определяет положение рычага и осуществляет индикацию выбранной частоты вращения при помощи лампочек.

Вертикальное перемещение шпинделя осуществляют посредством реечной передачи. Доступ к движущимся частям этого механизма отсутствует.

Схема управления расположена внутри шкафа в передней части машины. Она состоит в основном из органов управления исполнительными механизмами (кнопки пуска, останова и др.), ламп для индикации выбранной частоты вращения, цепей питания и управления (электронные предохранительные устройства, контакторы и др.). Все электрические компоненты (проводники и кабели, управляющие устройства, двигатель, предохранительные устройства электрооборудования и др.) подобраны и собраны в соответствии с требованиями стандартов. Принципиальная схема показана на рисунке В.3.

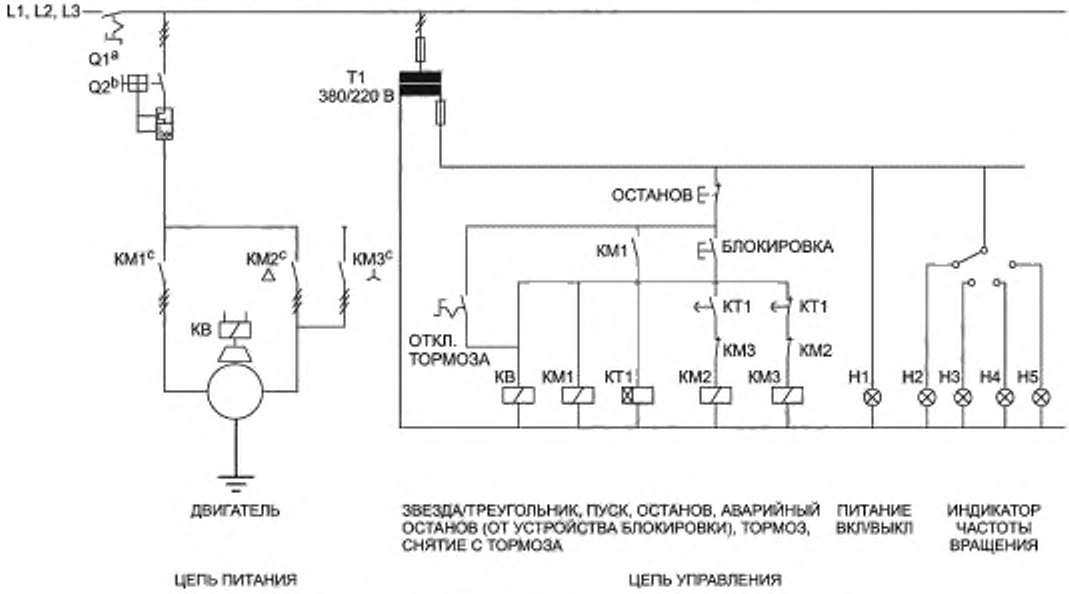


Рисунок В.3 — Предварительный вариант принципиальной схемы

В.3 Определение пределов эксплуатации машины

В.3.1 Описание различных этапов жизненного цикла машины

Для данного примера представляются важными следующие этапы жизненного цикла машины:

Транспортировка

Все задачи по транспортировке могут быть выполнены пользователем машины (внутренняя транспортировка, удаление и т. д.).

Сборка, монтаж и ввод в эксплуатацию

Снятие временных элементов (крышек, фиксирующих болтов и т. д.), закрепление машины на полу, подключение к источнику питания, проверка правильности монтажа (правильность направления вращения инструмента, проверка функционирования всех органов управления, возможность использования машины по назначению).

Настройка

Замена инструмента на шпинделе, установка и регулировка направляющих, изменение частоты вращения шпинделя, пробные запуски.

Эксплуатация

Фрезерование с ручной подачей заготовок.

Чистка, техническое обслуживание

Смазка вращающихся частей и деталей редуктора, замена ремней, чистка внутренних деталей машины.

Поиск и устранение неисправностей

Операции, выполняемые в случае неисправности машины, а также после срабатывания предохранительного устройства.

Вывод из эксплуатации и демонтаж

Утилизация всех деталей машины пользователем.

В.3.2 Пределы эксплуатации

В.3.2.1 Использование по назначению

Данная машина предназначена для изменения профиля заготовок из дерева или других материалов (пробка, ДСП, фибровый картон, твердые пластики) с квадратным или прямоугольным сечением путем формования, фальцевания и проточки.

Работа на данной машине производится в следующих режимах:
- работа по прямой;
- работа по прямой с остановками;
- работа по кривой.

Машина предназначена для профессионального применения.

Предполагается, что работы будут производить лица с достаточными знаниями и опытом работы на машинах подобного типа, не имеющие физических ограничений верхних конечностей и органов зрения.

Во время работы с машиной оператор находится в положении стоя. При этом оператор удерживает и направляет заготовку в процессе фрезерования.

Предполагается, что работы будут выполнять квалифицированные/опытные операторы в соответствии с инструкциями по технике безопасности.

Шпиндель может вращаться с четырьмя различными частотами вращения. Выбор скорости осуществляют вручную посредством изменения положения приводного ремня.

Допускается применение только стандартизованного режущего инструмента надлежащего размера.

В.3.2.2 Прогнозируемое использование не по назначению

К числу прогнозируемых использований не по назначению можно отнести:
- обработку материалов, не предусмотренных разработчиком (см. В.2.1.3), в том числе резины, камня, металлов или не очищенного от инородных материалов дерева;
- обработку заготовок ненадлежащего сечения (цилиндрических, эллиптических);
- выточку шпоночных пазов;
- использование изготовленных в домашних условиях инструментов;
- установку узлов и запасных частей, отличных от предусмотренных конструкцией машины;
- использование машины лицами, не достигшими 16 лет.

В.3.2.3 Территориальные пределы

Машина рассчитана на использование в промышленных помещениях.

Для монтажа требуется плоский участок пола размерами не менее 3000 × 3000 мм, свободный от различного рода препятствий, в том числе колонн.

Предполагается, что машина будет подключена к системе удаления пыли пользователя.

Машина не предназначена для эксплуатации в местах, где имеется опасность взрыва или пожара.

Машина должна быть подключена к трехфазной электрической сети напряжением 400 В.

В.3.2.4 Временные пределы

Расчетный срок эксплуатации машины составляет 20000 ч.

Некоторые части машины подвержены износу и подлежат проверке/замене:
- ремни: необходимо проверять состояние и натяжение через каждые 500 ч;
- тормозной механизм: необходимо проверять, что время останова составляет не более 10 с;
- инструменты: необходимо проверять состояние и остроту в соответствии с инструкциями производителя.

Каждую смену необходимо очищать видимые и доступные поверхности, в том числе движущихся частей и направляющих.

Общую чистку машины выполняют через каждые шесть месяцев.

В.4 Идентификация опасностей

В.4.1 Границы анализируемой системы

Как уже отмечалось в В.1, в данном примере идентификация опасностей (см. таблицу В.1) ограничена эксплуатацией машины, в частности настройкой и эксплуатацией.

В.4.2 Выполняемые задачи

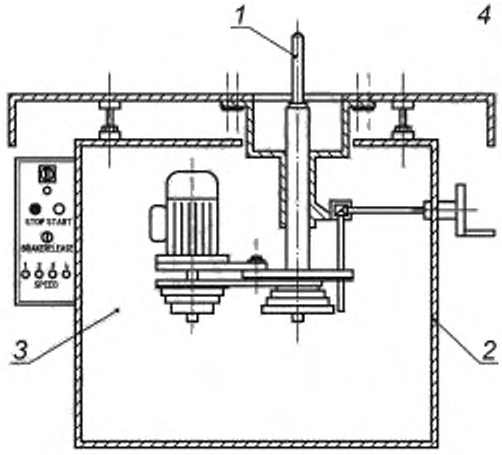
В процессе настройки машины выполняют следующие задачи:
- замена инструмента на неподвижном шпинделе;
- установка и регулировка соответствующих направляющих (для работы по прямой или по кривой);
- изменение частоты вращения шпинделя;
- пробные запуски (регулировка высоты шпинделя, подача и обработка пробных заготовок, чтобы проверить глубину реза и правильность регулировки высоты шпинделя).

В процессе эксплуатации машины выполняют следующие задачи:
- фрезерование или формовка заготовки.

Примечание — Все работы по регулировке машины учтены в списке задач, выполняемых на этапе настройки. Поэтому эксплуатация машины сводится только к обработке (подаче заготовок вручную и удержанию их во время фрезерования).

В.4.3 Существенные опасности и сценарии несчастных случаев

Определены следующие опасные зоны (см. рисунок В.4):
- зона 1— рабочая зона;
- зона 2 — рама машины;
- зона 3 — зона редуктора;
- зона 4 — пространство вокруг машины.



1, 2, 3, 4 — зоны, перечисленные в В.4.3

Рисунок В.4 — Опасные зоны

Таблица В.1 — Идентификация опасностей

Машина			Верт. шпиндельный фрезерный станок		**Аналитик**	Ф.И.О.	
Источники			Спецификации, предварит. конструкция		**Текущая версия**	2.0	
Границы			Этапы: настройка и эксплуатация		**Дата**	Сентябрь 2010	
Метод			Контр. листы: Приложение Б		**Стр.**	1	
№	**Ж. Ц.**	**Задача**	**Опасная зона**	**Опасность**	**Сценарий несчастного случая**		**№**
					Опасная ситуация	**Опасное событие**	
1	Настройка	Смена инструмента	Рабочая зона	Порезы пальцев или рук об острые кромки инструмента	Работа с инструментом (транспортировка/установка)	Контакт с острыми кромками по невнимательности или из-за потери равновесия	**1**
2					Работа с инструментом (крепление/снятие)	Контакт с острыми кромками при вращении шпинделя усилием, прилагаемым для крепления/снятия	**2**
3						Контакт с острыми кромками при потере управления, проскальзывании фрезы из-за использования неподходящего ручного инструмента	**3**
4					Работа с инструментом (транспортировка, установка, крепление)	Непредвиденный запуск, сопровождающийся контактом с движущимися частями	**4**
5		Установка и регулировка направляющих			Работа рядом/с инструментом	Контакт с острыми кромками по невнимательности	**5**
6						Непредвиденный запуск, сопровождающийся контактом с движущимися частями	**6**

Продолжение таблицы В.1

Машина			Верт. шпиндельный фрезерный станок		**Аналитик**	Ф.И.О.	
Источники			Спецификации, предварит. конструкция		**Текущая версия**	2.0	
Границы			Этапы. настройка и эксплуатация		**Дата**	Сентябрь 2010	
Метод			Контр. листы: Приложение Б		**Стр.**	1	
№	**Ж. Ц.**	**Задача**	**Опасная зона**	**Опасность**	**Сценарий несчастного случая**		**№**
					Опасная ситуация	**Опасное событие**	
7	Настройка	Изменение частоты вращения шпинделя	Зона редуктора	Раздавливание пальцев или рук вращающимися элементами (между шкивом и ремнем)	Работа вблизи редуктора (например, проверка/осмотр редуктора во время работы машины)	Контакт с движущимися частями из-за ошибки конструктора. Примечание — Доступ к редуктору, например, для осмотра или проверки, является прогнозируемым действием, прогнозируемым использованием не по назначению) и должен быть предотвращен соответствующими конструктивными мерами	**7**
8					Работа вблизи редуктора (при выключенной машине)	Неожиданный запуск, включая контакт с движущимися частями	**8**
9				Детали, оказавшиеся под напряжением в результате неисправности	Работа с машиной под напряжением	Косвенный контакт	**9**
10		Пробные запуски	Рабочая зона	Порезы пальцев или рук, их захват вращающимися элементами машины (инструментом)	Работа вблизи инструмента (подача заготовки)	Контакт с движущимися частями из-за потери контроля над заготовкой (заготовка не подходит по материалу, размеру или форме, неподходящий инструмент, неправильный выбор частоты вращения инструмента, чрезмерная глубина реза и др.)	**10**
11						Контакт с движущимися частями из-за потери контроля над заготовкой в промежутках между направляющими (зазоры)	**11**
12						Контакт с движущимися частями из-за потери контроля над заготовкой в промежутках между направляющими (отверстие в столе)	**12**
13						Контакт с движущимися частями из-за отсутствия защитных мер	**13**
14						Контакт с движущимися частями из-за захвата свободной одежды, ожерелий, серег и неубранных волос	**14**
15			Зона редуктора	Порезы пальцев или рук, затягивание их вращающимися элементами (инструментом)	Работа вблизи инструмента (регулировка направляющей во время работы машины)	Контакт с движущимися частями из-за несоблюдения надлежащего порядка работы	**15**

Продолжение таблицы В.1

Машина	Верт. шпиндельный фрезерный станок	**Аналитик**	Ф.И.О.
Источники	Спецификации. предварит. конструкция	**Текущая версия**	2.0
Границы	Этапы: настройка и эксплуатация	**Дата**	Сентябрь 2010
Метод	Контр. листы; Приложение Б	**Стр.**	1

№	Ж. Ц.	Задача	Опасная зона	Опасность	Сценарий несчастного случая		№
					Опасная ситуация	Опасное событие	
16	Настройка	Пробные запуски	Рабочая зона и пространство вокруг машины	Удар извлеченным инструментом или частями машины (например, направляющей)	Оператор и другие люди находятся на траектории движения деталей (регулировка высоты шпинделя, подача заготовок)	Разрыв инструмента или части направляющей (неправильная регулировка высоты шпинделя или направляющей, заготовка не подходит по материалу, размеру или форме, неподходящий инструмент, неправильный выбор частоты вращения инструмента, неправильное крепление и др.)	**16**
17				Удар извлеченной заготовкой или ее частью	Оператор и другие люди находятся на траектории движения деталей (подача заготовок, особенно при работе по прямой с остановами и при работе по кривой)	Слишком быстрая подача заготовки. В некоторых случаях заготовка или ее часть может быть вытолкнута из машины и ударить оператора в тех же ситуациях, которые приводят к возникновению порезов (см. №10, 11 и 12)	**17**
18	Эксплуатация	Фрезерование	Рабочая зона	Порезы пальцев или рук, затягивание их вращающимися элементами (инструментом)	Работа вблизи инструмента (подача заготовки)	Контакт с движущимися частями из-за потери контроля над заготовкой (дефекты материала заготовки, подача заготовки в направлении вращения инструмента, неправильная подача заготовки и др.)	**18**
19						Контакт с движущимися частями из-за отсутствия защитных мер	**19**
20						Контакт с движущимися частями из-за захвата свободной одежды	**20**
21					Работа вблизи инструмента (удаление отходов или заготовки сразу после нажатия на кнопку останова или включения тормозного механизма)	Контакт с движущимися частями из-за недостатков конструкции схемы управления	**21**
22			Рабочая зона и пространство вокруг машины	Удар вытолкнутым инструментом или частями машины (например, направляющей)	Оператор и другие люди находятся на траектории движения деталей (регулировка высоты шпинделя, подача заготовок)	Разрыв инструмента или части направляющей (неправильная регулировка высоты шпинделя или направляющей, заготовка не подходит по материалу, размеру или форме, неподходящий инструмент, неправильный выбор частоты вращения инструмента, неправильное крепление и др.)	**22**

Окончание таблицы В.1

Машина			Верт. шпиндельный фрезерный станок		**Аналитик**	Ф.И.О.	
Источники			Спецификации, предварит. конструкция		**Текущая версия**	2.0	
Границы			Этапы. настройка и эксплуатация		**Дата**	Сентябрь 2010	
Метод			Контр. листы: Приложение Б		**Стр.**	1	
№	**Ж. Ц.**	**Задача**	**Опасная зона**	**Опасность**	**Сценарий несчастного случая**		**№**
					Опасная ситуация	**Опасное событие**	
23	Эксплуатация	Фрезерование	Рабочая зона и пространство вокруг машины	Удар вытолкнутой заготовкой или ее частью	Оператор и другие люди находятся на траектории движения деталей (подача заготовок, особенно при работе по прямой с остановами и при работе по кривой)	Слишком быстрая подача заготовки. Заготовка или ее часть может быть вытолкнута из машины и ударить оператора в тех же ситуациях, которые приводят к возникновению порезов (см. №10, 11 и 12).	**23**
24				Деревянная пыль	Оператор и другие люди подвергаются опасности, связанной с деревянной пылью	Выделение деревянной пыли в опасных для здоровья количествах	**24**
25				Дым	Оператор и другие люди подвергаются опасности, связанной с дымом	Выделение обрабатываемой заготовкой дыма в опасных для здоровья количествах	**25**
26				Пожар	Оператор и другие люди подвергаются опасности	Воспламенение пыли/опилок при контакте с источниками электроэнергии	**26**
27				Подскальзывание и падение	Работа с/у машины	Подскальзывание на пыли или опилках, покрывающих пол	**27**
28				Шумный производственный процесс	Оператор и другие люди подвергаются опасности, связанной с шумом	Выделение опасного уровня шума	**28**
29				Заболевания опорно-двигательного аппарата	Подача заготовок	Болезненные или неудобные позы при чрезмерной массе заготовок	**29**
30			Рама машины	Детали, оказавшиеся под напряжением в результате неисправности	Работа с машиной под напряжением	Косвенный контакт	**30**

В.5 Расчет и оценка степени риска, снижение риска

В.5.1 Выбор метода расчета степени риска

Расчет степени риска будет производиться с помощью графа рисков, описанного в А.4 (приложение А).

Поскольку этот метод не очень подходит для расчета степени риска, связанного с гигиеническими или эргономическими опасностями, а также с опасностью пожара и взрыва, в отношении этого риска были приняты следующие допущения:

Гигиенические и эргономические опасности

Риск, связанный с гигиеническими опасностями, зависит главным образом с токсичностью и концентрацией вредных веществ и продолжительностью воздействия. Аналогично риск эргономических опасностей определяется частотой повторения движений, усилий и поз, продолжительностью воздействия и временем, отведенным на восстановление, что также может быть сведено к степени тяжести и продолжительности воздействия.

Таким образом, этот риск не может определяться в терминах частоты наступления опасных событий и возможности исключения вреда. Поэтому при оценке этого риска будут рассмотрены только степень тяжести вреда и продолжительность воздействия, а указанным ранее параметрам будут присвоены наиболее консервативные значения.

Пожар

Опасность пожара зависит главным образом от наличия горючих веществ или материалов, кислорода и источника огня. При этом степень тяжести, длительность воздействия и вероятность наступления опасного события могут быть приведены в соответствие с объемом и силой возможного пожара, продолжительностью опасной ситуации, а также с вероятностью того, что машина будет охвачена пожаром. Имеется также и возможность исключения опасной ситуации. Однако поскольку все эти параметры не поддаются реальной оценке, им будут присвоены наиболее консервативные значения.

Независимо от результатов грубого расчета степени риска, при условии, что будут приняты хорошо проверенные защитные меры, соответствующий риск будет считаться в достаточной степени сниженным, и никаких дополнительных действий предприниматься не будет. В противном случае потребуется выполнить расчет с использованием узкоспециальных методов.

В.5.2 Расчет и оценка степени риска, снижение риска

Расчет и оценка степени риска, а также мероприятия по снижению риска описаны в таблице В.2.

При этом используют следующие обозначения:

- S — степень тяжести:
  - S1 — легкая;
  - S2 — тяжелая;
- F — частота воздействия:
  - F1 — редко;
  - F2 — часто;
- O — частота наступления опасных событий:
  - O1 — очень низкая;
  - O2 — допустимая;
  - O3 — высокая;
- A — возможность исключения вреда:
  - A1 — возможно;
  - A2 — невозможно;
- RI — показатель риска: от 1 (минимум) до 5 (максимум).

Примечания

1 При правильной установке и во время настройки машины риск, связанный с гигиенической (деревянная пыль, дым и шум), эргономической опасностями, а также риск в отношении опасности пожара и подскальзывания незначительны, так как источники этих опасностей слабы.

2 Некоторые из перечисленных в таблице В.2 защитных мер были сформированы за несколько итераций. Например, в № 12 таблицы В.2 предлагалось уменьшить диаметр отверстия в столешнице путем использования кольцевых вставок. Дополнительные требования по твердости материала привели к появлению нового источника опасности: возможности разрыва инструмента при контакте с кольцом.

3 В № 18 таблицы В.2 в качестве защитной меры предлагалось использовать съемный блок питания. Однако необходимость выполнения требований, изложенных производителем в инструкции по эксплуатации, а также дальнейшего рассмотрения возможных источников опасности, связанных с этим блоком питания, которые могут иметь место на различных этапах жизненного цикла машины, привела к тому, что процесс оценки пришлось повторить. При этом были приняты во внимание вновь предложенные защитные мены (например, надлежащая блокировка между функциями управления головкой шпинделя и блоком питания, введение в конструкцию аварийного останова и соответствующих регулировок).

Таблица В.2 — Расчет и оценка степени риска, снижение риска

Расчет и оценка степени риска, снижение риска													
Машина			Верт шпиндельный фрезерный станок			**Аналитик**	Ф И О.						
Источники			Спецификации, предварит конструкция			**Текущая версия**	2.0						
Границы			Этапы: настройка и эксплуатация			**Дата**	Июль 2011						
Метод			Граф риска			**Стр.**	1						
№	**Расчет степени риска (первоначальный)**					**Снижение риска. Защитные меры**	**Расчет степени риска (после снижения риска)**					**Необходимо дальнейшее снижение**	**№**
	S	**F**	**O**	**A**	**RI**		**S**	**F**	**O**	**A**	**RI**		
1	1	1	2	2	1	Инструкции по применению защитных перчаток, работа ручным инструментом вместо рук	1	1	2	1	1	Нет	**1**
2	1	1	3	2	2	Введение в конструкцию системы блокировки шпинделя, соответствующие инструкции по эксплуатации	1	1	1	2	1	Нет	**2**
3	1	1	3	2	2	Обеспечение надлежащим ручным инструментом и инструкциями по его применению	1	1	1	2	1	Нет	**3**
4	2	1	2	2	3	Электрооборудование в соответствии с НД (например, защита от коротких замыканий на землю, блокировка функции отключения тормозного механизма и запуска машины) (см. рисунок В.6). Рекомендация надлежащим образом изолировать машину от источника питания (посредством главного выключателя)	2	1	1	2	2	Нет	**4**
5	1	1	2	2	1	См. защитные меры для № 1	1	1	2	1	1	Нет	**5**
6	2	1	2	2	3	Электрооборудование в соответствии с НД (например, защита от коротких замыканий на землю, блокировка функции отключения тормозного механизма и запуска машины) (см. рисунок В.6).	2	1	1	2	2	Нет	**6**
7	2	1	2	2	3	Установка на дверцу блокирующего устройства, а также применение схемы управления категории 1 в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13849-1. Периодические осмотры.	2	1	1	2	2	Нет	**7**
8	2	1	2	2	3	См. защитные меры для № 4 и № 7	2	1	1	2	2	Нет	**8**
9	2	1	2	2	3	Электрооборудование в соответствии с НД (защитная изоляция токопроводящих частей машины, применение датчиков остаточного тока) (см. рисунок В.6)	1	1	1	1	2	Нет	**9**

Продолжение таблицы В.2

Расчет и оценка степени риска, снижение риска			
Машина	Верт шпиндельный фрезерный станок	**Аналитик**	Ф И О
Источники	Спецификации, предварит. конструкция	**Текущая версия**	2.0
Границы	Этапы настройка и эксплуатация	**Дата**	Июль 2011
Метод	Граф риска	**Стр.**	1

№	Расчет степени риска (первоначальный)					Снижение риска. Защитные меры	Расчет степени риска (после снижения риска)					Необходимо дальнейшее снижение	№
	S	F	O	A	RI		S	F	O	A	RI		
10	2	1	2	2	3	Установка датчика глубины, разработка инструкций по работе с ним Установка нажимных блоков и рукояток, разработка инструкций по работе с ними, а также инструкций по работе со струбцинами и шаблонами Инструкции по проверке качества заготовок Инструкции по работе с инструментом в соответствии с действующими стандартами Маркировка со схемой соответствия частот вращения шпинделя и диаметра инструмента. Инструкции по работе со схемой Инструкции по мерам, позволяющим избежать пореза из-за подачи заготовки с неправильной стороны Рекомендации использовать постепенную обработку (во избежание чрезмерной глубины реза)	2	1	1	1	2	Нет	**10**
11	2	1	2	2	3	Уменьшение зазора между направляющими для работы по прямой за счет изменения их конструкции (см. рисунок В.5). Инструкции по уменьшению зазора при помощи вспомогательных направляющих	2	1	1	2	2	Нет	**11**
12	2	1	2	2	3	Уменьшение отверстия в столешнице за счет вставных колец, изготовленных из мягкого материала. Инструкции по работе с ними. См. В.5.2, примечание 2	2	1	1	2	2	Нет	**12**
13	2	1	3	2	4	Установка регулируемых направляющих для работы по прямой и по кривой (см. рис. В.6). Инструкции по их установке, регулировке и применению	2	1	1	2	2	Нет	**13**
14	2	1	2	1	2	Рекомендации не надевать свободную одежду, галстуки, ожерелья и серьги, убирать волосы	2	1	1	1	2	Нет	**14**
15	2	1	3	2	4	Пиктограммы и инструкции, запрещающие регулировать направляющие при включенной машине	2	1	2	1	2	Нет	**15**

Продолжение таблицы В 2

Расчет и оценка степени риска, снижение риска			
Машина	Верт шпиндельный фрезерный станок	**Аналитик**	Ф И О.
Источники	Спецификации, предварит. конструкция	**Текущая версия**	2.0
Границы	Этапы: настройка и эксплуатация	**Дата**	Июль 2011
Метод	Граф риска	**Стр.**	1

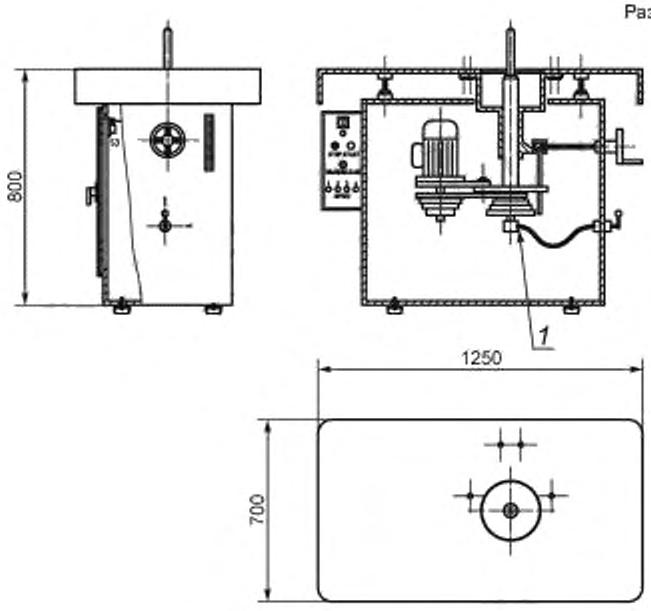
№	Расчет степени риска (первоначальный)					Снижение риска. Защитные меры	Расчет степени риска (после снижения риска)					Необходимо дальнейшее снижение	№
	S	F	O	A	RI		S	F	O	A	RI		
16	2	1	2	2	3	Изготовление направляющих, расположенных близко к инструменту, из мягкого материала (например, легкого сплава, пластика, дерева). Установка индикатора высоты шпинделя рядом с маховиком регулировки высоты Инструкции по правильному креплению инструмента См. также защитные меры для № 10	2	1	1	2	2	Нет	**16**
17	1	1	3	2	2	Оснащение щитка «заходом» для работы по кривой. Инструкции по работе с ним. Установка неподвижных ограничителей хода. Инструкции по применению струбцин и ограничителей хода для работы по прямой с остановками См. также защитные меры для №10, 11 и 12	1	1	1	2	1	Нет	**17**
18	2	2	2	2	5	Установка съемного блока питания для работы по прямой. Установка нажимных блоков и рукояток, разработка инструкций по работе с ними, а также инструкций по работе со струбцинами и шаблонами. Инструкции по проверке качества заготовок Инструкции по мерам, позволяющим избежать пореза из-за подачи заготовки с неправильной стороны. Инструкции, позволяющие избежать ненадлежащей скорости подачи	2	1	1	1	2	Да (см. В.5.2, прим. 2)	**18**
19	2	2	3	2	6	См. защитные меры для № 13	2	1	1	2	2	Нет	**19**
20	2	2	2	1	4	См. защитные меры для № 14	2	2	1	1	3	Нет	**20**
21	2	1	3	2	4	Блокировка функции отключения тормозного механизма и запуска машины в составе электрической схемы (см. рисунок В.6) категории 1 в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13849—1. Инструкции по периодической проверке времени останова	2	1	2	1	2	Нет	**21**
22	2	2	2	2	5	См. защитные меры для № 15 и 17	2	2	1	2	4	Нет	**22**
23	1	2	3	2	2	См. защитные меры для № 16, 17 и 18	1	2	1	2	1	Нет	**23**

Окончание таблицы В.2

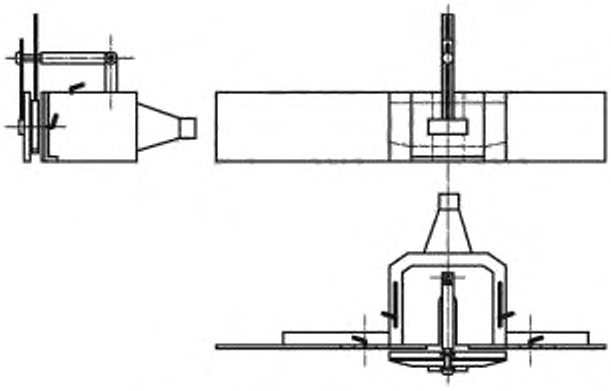
Расчет и оценка степени риска, снижение риска			
Машина	Верт шпиндельный фрезерный станок	**Аналитик**	Ф И О
Источники	Спецификации, предварит конструкция	**Текущая версия**	2 0
Границы	Этапы: настройка и эксплуатация	**Дата**	Июль 2011
Метод	Граф риска	**Стр.**	1

№	Расчет степени риска (первоначальный)					Снижение риска Защитные меры	Расчет степени риска (после снижения риска)					Необходимо дальнейшее снижение	№
	S	F	O	A	RI		S	F	O	A	RI		
24	2	2	3	2	6	Установка выходных воздуховодов для подключения системы удаления пыли, рассчитанных на минимальный расход воздуха 1500 м^3/ч и минимальную скорость потока воздуха 20 м/с	1	2	3	2	2	Нет	**24**
25	2	1	3	2	4	См. защитные меры для № 24 Инструкции надевать средства защиты Инструкции, запрещающие обрабатывать окрашенное дерево и другие подобные материалы	1	1	3	2	2	Нет	**25**
26						Электрооборудование в соответствии с НД (минимальная степень защиты IP54, надлежащий выбор размеров узлов, достаточное охлаждение и др.). Инструкции по применению системы удаления пыли						Нет	**26**
27						Инструкции по работе с системой вентиляции, инструкции по чистке машины						Нет	**27**
28						Принятие конструктивных мер для снижения уровня шума (балансировка шпинделя, подшипников, виброизолирующие крепления, экранирование)						Нет	**28**
29						Установка на машину креплений для расширения столешницы						Нет	**29**
30						См. защитные меры для № 10						Нет	**30**

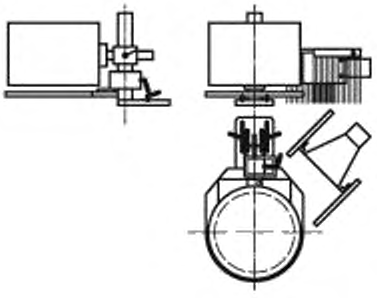
Размеры в миллиметрах



а) Общий вид конструкции



б) Направляющая для работы по прямой



в) Направляющая для работы по кривой

1 — система блокировки шпинделя

Рисунок В.5 — Окончательный вариант конструкции

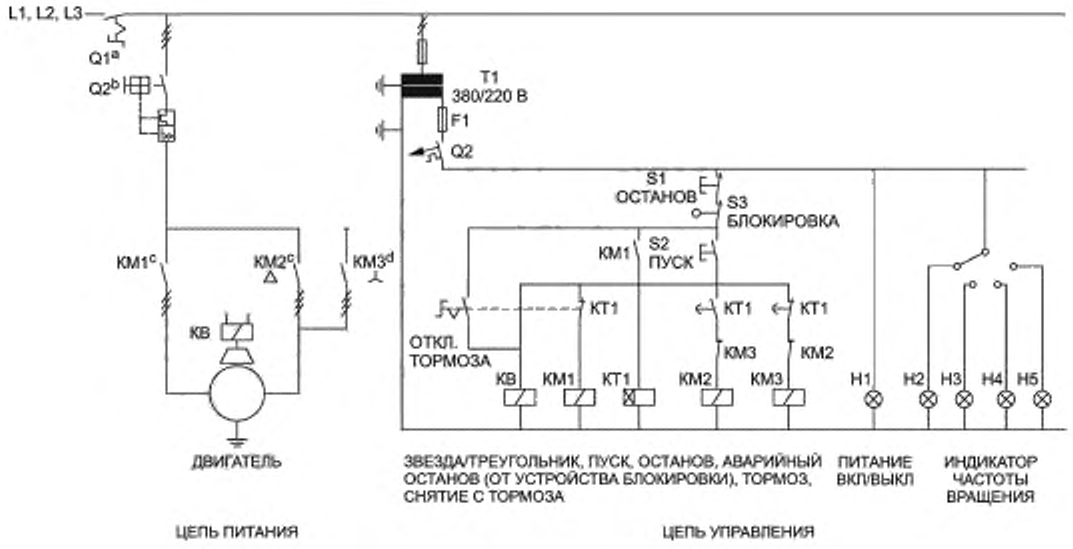


Рисунок В.6 — Окончательный вариант принципиальной схемы

Библиография

[1] Технический регламент «О безопасности машин и оборудования». Утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 15.09.2009 № 7530

[2] РД 50-690—89 Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. Методические указания

[3] ГОСТ 21744—83 Сильфоны многослойные металлические. Общие технические условия

[4] НП 068—05 Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования

[5] СТ ЦКБА 055—2008 Арматура трубопроводная. Затворы арматуры с уплотнением из фторопласта-4 и композиционных материалов. Технические требования и методы крепления уплотнительных колец

[6] Банк данных Электронный банк данных о надежности трубопроводной арматуры

УДК 001.4:621.643.4:006.354 ОКС 13.110

Ключевые слова: машины, оборудование, оценка риска, опасное событие, последствия

Редактор *П.М. Смирнов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *А.В. Бестужевой*

Сдано в набор 20.05.2013. Подписано в печать 14.08.2013. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 11,62. Уч.-изд. л. 11,05. Тираж 83 экз Зак. 839.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.