ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 14955-2— 2025

СТАНКИ. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТАНКОВ

Часть 2

Методы измерения количества энергии, потребляемой станками и деталями инструментальной оснастки

(ISO 14955-2:2018, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 070 «Станки»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 декабря 2025 г. № 1596-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 14955-2:2018 «Станки. Оценка условий окружающей среды для станков. Часть 2. Методы измерения количества энергии, потребляемой станками и деталями инструментальной оснастки» (ISO 14955-2:2018 «Machine tools — Environmental evaluation of machine tools — Part 2: Methods for measuring energy supplied to machine tools and machine tool components», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ISO/TC 39 «Станки» Международной организации по стандартизации (ИСО).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «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 (*gost.e-ecolog.ru

© ISO, 2018
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

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 1
4 Описание системы и состояния станка 3
4.1 Общие положения 3
4.2 Условия окружающей среды 3
4.3 Режимы работы и действия на станке 3
4.4 Действия на станке 3
5 Сценарии испытаний 4
5.1 Общие положения 4
5.2 Машинный сценарий испытания 4
5.3 Сценарий испытания на основе задач 8
6 Определение системы измерений 9
7 Система и методика измерения 11
7.1 Выбор точек измерения 11
7.2 Измерение мощности и расчет подводимой энергии 12
7.3 Одновременное измерение 12
7.4 Квазиодновременное измерение 12
7.5 Измерительное оборудование 13
7.6 Единицы измерения 13
7.7 Период измерения 13
7.8 Пересчет измеренных значений 13
7.9 Эквивалент электрической энергии 14
8 Погрешность измерений 15
9 Представление результатов 16
9.1 Представление результатов отдельных измерений 16
9.2 Отображение измеренных значений и их интерпретация 16
9.3 Протокол измерений 16
Приложение А (справочное) Эквивалент электрической энергии 17
Приложение В (справочное) Измерение подводимой энергии (кроме электрической) 19
Приложение С (справочное) Пример измерения 27
Приложение D (справочное) Уравнения для расчета подводимой энергии и энергоэффективности . . 31
Приложение Е (справочное) Примеры установок для измерения мощности 32
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 40
Библиография 41

Введение

Поскольку влияние на окружающую среду является общей проблемой для всех видов продукции, а природные ресурсы становятся все более ограниченными, необходимо определить критерии экологической эффективности при работе станков и уточнить порядок их использования.

Станки представляют собой сложные изделия промышленного назначения, предназначенные для производства готовых к использованию деталей или полуфабрикатов. Их влияние на окружающую среду включает в себя отходы сырья, применение вспомогательных веществ, таких как смазочные материалы и другие жидкости, а также преобразование электрической энергии в тепловую, отвод тепла в окружающую среду или теплообмен с помощью жидкостей и, возможно, использование других ресурсов, таких как сжатый воздух. Исходя из соображений актуальности стандарты серии ИСО 14955 по своему содержанию ориентированы на решение вопросов относительно влияния на окружающую среду, связанного с энергией, потребляемой станком на этапе его эксплуатации.

Эффективное функционирование станка как ключевая информация для потенциальных инвестиций является многомерной с точки зрения его экономической ценности, технических характеристик и эксплуатационных требований, которые зависят от области применения станка. Энергия, потребляемая одним и тем же станком, может значительно отличаться в зависимости от изготавливаемой детали и условий эксплуатации станка. Следовательно, недопустимо проводить экологическую оценку станка без учета вышеприведенных факторов.

В ИСО 14955-1 представлена методология экологической оценки станков и обоснована необходимость измерения энергии, потребляемой станком.

В ИСО 14955-3 — ИСО 14955-5 приведено описание применения положений ИСО 14955-1 и ИСО 14955-2 в отношении конкретных типов станков.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СТАНКИ. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТАНКОВ

Часть 2

Методы измерения количества энергии, потребляемой станками и деталями инструментальной оснастки

Machine tools. Environmental evaluation of machine tools.
Part 2. Methods for measuring energy supplied to machine tools and machine tool components

Дата введения — 2026—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы измерения для получения воспроизводимых данных об энергии, подаваемой на станок в определенных условиях. Кроме того, в настоящем стандарте приведены методы количественной оценки электрической энергии, потребляемой компонентами станка, с целью определения их доли в обобщенных функциях станка, как описано в ИСО 14955-1.

Настоящий стандарт определяет методологию энергосберегающего проектирования в соответствии с ИСО 14955-1 и методы измерения энергии, потребляемой при эксплуатации станков. Распределение электрической энергии, расходуемой с учетом функций станка, требует соответствующих измерений на уровне компонентов станка. Эти измерения должны быть воспроизводимыми и независимыми от конкретных условий, кроме тех, в которых они проведены и зафиксированы.

Результаты измерений предназначены для документирования усовершенствований конструкции, в частности с точки зрения аспектов энергопотребления, и/или для оценки электрической энергии, затрачиваемой на изготовление данной детали на данном станке. Любое сравнение следует проводить при соблюдении одинаковых условий, что гарантирует достижение аналогичных результатов при выполнении технических требований и измерений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 1217, Displacement compressors — Acceptance tests (Компрессоры объемные. Приемочные испытания)

ISO 8778, Pneumatic fluid power — Standard reference atmosphere (Приводы пневматические. Стандартная эталонная атмосфера)

ISO 14955-1:2017, Environmental evaluation of machine tools — Part 1: Design methodology for energy-efficient machine tools (Станки. Оценка условий окружающей среды для станков. Часть 1. Методология проектирования энергосберегающих станков)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 14955-1, а также следующие термины с соответствующими определениями.

ИСО и МЭК поддерживают терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

Издание официальное

- платформа онлайн-просмотра ИСО, доступная по адресу: gost.e-ecolog.ru;
- Электропедия МЭК, доступная по адресу: gost.e-ecolog.ru.

3.1 **средняя электрическая мощность** (average electrical power): Среднее значение активной электрической мощности за данный период времени.

Примечание 1 — Определения для измерения количественных показателей электрической энергии в синусоидальных, несинусоидальных, сбалансированных или несбалансированных условиях приведены в IEEE 1459-2010 [13].

3.2 **электрическая энергия** (electrical energy): Активная электрическая мощность, интегрированная за определенный период времени.

3.3 **эквивалент электрической энергии** (electrical energy equivalent): Электрическая энергия (см. 3.2), необходимая для обеспечения другого вида энергии, подаваемой на станок (см. 3.4).

3.4 **станок** (machine tool): Механическое устройство, являющееся стационарным (т. е. неподвижным), приводимое в действие (как правило, электричеством и сжатым воздухом) и обычно используемое для обработки заготовок путем выборочного удаления/добавления материала или механической деформации.

Примечание 1 — Станки могут быть механическими, управляемыми человеком или компьютером. Станки могут иметь ряд периферийных устройств, используемых для охлаждения/прогрева станка, процесса кондиционирования, обработки заготовок и работы с инструментом (за исключением подачи заготовок), переработки вторичного сырья и отходов, а также для других задач, связанных с их основной деятельностью.

[ИСО 14955-1:2007, 3.16]

3.5 **компонент станка** (machine tool component): Механическое, электрическое, гидравлическое или пневматическое устройства станка (см. 3.4) или их комбинация.

[ИСО 14955-1:2017, 3.13]

3.6 **функция станка** (machine tool function): Управление станком (см. 3.4) (процесс обработки, перемещение и контроль), процесс кондиционирования, обработка заготовок, работа с инструментом или замена штампа, переработка вторичного сырья и отходов, охлаждение/прогрев станка.

Примечание 1 — Любая функция станка может быть реализована с помощью одного компонента станка (см. 3.5) или комбинации компонентов станка. Некоторые компоненты станка могут выполнять более одной функции.

Примечание 2 — Функции станка могут быть использованы для идентификации компонентов станка, определяющих общее количество энергии, подаваемой на станок.

[ИСО 14955-1:2007, 3.12, изменен — примечание 2 удалено, а примечание 3 стало примечанием 2]

3.7 **период оценки** (evaluation period): Непрерывный период времени, в течение которого подводимая энергия и полученный результат оценивают количественно.

3.8 **режим работы** (operating state): Комбинация режимов «Включено», «Режим ожидания», «Выключено» и т. д., настройки сети, периферийных устройств, управления станком (см. 3.4), блока обработки и перемещения станка, включая соответствующие действия на станке.

Примечание 1 — Периферийными устройствами являются, например, устройства для охлаждения/прогрева станка, процесс кондиционирования, работа с заготовками и инструментом, переработка вторичного сырья и отходов.

Примечание 2 — Элементами блока обработки являются, например, главный шпиндель токарного станка, инструментальный шпиндель блока обработки, генератор для электроразрядного станка, ползун пресса, вытяжные матрицы пресса.

Примечание 3 — Элементами блока перемещения являются, например, линейные оси токарного станка, линейные оси и оси вращения блока обработки, линейные оси электроэрозионного станка.

Примечание 4 — При наличии ссылок на режимы работы (например, «Выключено», «Режим ожидания», «Расширенный режим ожидания», «Прогрев», «Готов к работе», «Обработка», «Цикл переработки») должно быть приведено определение этих режимов. Пример такого определения для металлорежущего станка представлен в ИСО 14955-1:2017, приложение С.

Примечание 5 — Примерами действий на станке являются загрузка инструмента, заготовок, перемещение осей, ожидание, работа станка или циклическое переключение, а также выполнение циклов испытаний.

Примечание 6 — В зависимости от режима работы и принципа действия станка выбирают режим работы, соответствующий стандартам безопасности станков.

[ИСО 14955-1:2007, 3.7, изменен — ссылка в примечании 4 на запись обновлена]

3.9 **пневматическая энергия** (pneumatic energy): Энергия, подаваемая потоком сжатого воздуха.

3.10 **режим смены** (shift regime): Набор режимов работы и их временных интервалов в течение периода оценки.

3.11 **действия на станке** (machine tool activity): Набор операций, выполняемых станком (см. 3.4) в режимах работы, кроме режима «Выключено».

Примечание 1 — Действия на станке вызываются определенным управляющим действием, вводимым пользователем, таким как установка параметра или запуск программы.

Примечание 2 — Примерами действий на станке являются загрузка инструмента, заготовок, движение осей с заданной скоростью и ускорением, механическая обработка или периодический режим, а также полные циклы испытаний (с указанием соответствующих параметров).

4 Описание системы и состояния станка

4.1 Общие положения

Для проведения оценки энергопотребления необходимо представить описание системы и состояния станка. Описание системы приведено в разделе 6. Состояние станка определено тремя различными, но не обязательно независимыми типами влияния:

- условиями окружающей среды;
- режимами работы;
- действиями на станке.

Полный отчет должен содержать описание системы и состояния станка, характеризуемое условиями окружающей среды, режимами работы и действиями на станке. Результаты измерений регистрируют в протоколе испытания.

4.2 Условия окружающей среды

Измерения следует проводить при стабильной температуре окружающей среды, предпочтительно при температуре 20 °С. Температуру окружающей среды и ее колебания отслеживают и представляют в виде среднего значения и его изменений (например, стандартного отклонения или минимальных/максимальных значений). При необходимости в протокол испытаний вносят другие условия окружающей среды (например, влажность, воздействие прямых солнечных лучей, теплообмен).

4.3 Режимы работы и действия на станке

Режимы работы являются результатом выбора режима эксплуатации и в итоге результатом введения оператором дополнительных параметров, приводящих станок в требуемое состояние. В станке могут быть предусмотрены функции автоматического переключения в определенный режим работы при достижении стандартных условий, таких как переход в режим работы «Режим ожидания» через некоторое время после завершения цикла обработки детали и отсутствия команд со стороны оператора.

Переход из одного режима работы в другой следует рассматривать как отдельный режим работы, если расчетное количество подаваемой энергии имеет соответствующую долю, например, переход из режима работы «Выключено» в режим работы «Готов к работе», если станок проходит обязательный цикл прогрева.

Примерами режимов работы являются следующие: «Выключено»; переход из режима работы «Режим ожидания» в режим работы «Готов к работе»; «Режим ожидания»; «Готов к работе» или «Цикл переработки»; «Обработка» или «Цикл переработки», а также переход из режима работы «Режим ожидания» в режим работы «Выключено».

Режим работы «Сбой в работе» из-за сбоя технологического сбоя или аварийной остановки может быть связан с соответствующим режимом работы станка, который должен быть включен в оценку энергопотребления. Определения режимов работы зависят от конкретного станка и должны быть задокументированы (см. ИСО 14955-1:2017, приложение С).

4.4 Действия на станке

В режиме работы и при стабильных внешних условиях подача энергии в систему может зависеть от действий на станке. Для определенных режимов работы, таких как «Выключено» или «Режим ожидания», действия на станке могут зависеть от настроек по умолчанию. В других режимах работы, таких как

«Готов к работе» или «Цикл переработки», действия на станке, включающие установку инструментов и деталей, а также программирование оператором, оказывают существенное влияние на энергию, подаваемую в систему.

Примечание 1 — Для различных видов действий на станке могут потребоваться определенные режимы работы, предусмотренные стандартами безопасности для станков.

Примечание 2 — В части работы с эталонными или экспериментальными действиями на станке при испытаниях приведены следующие части серии стандартов ИСО 14955.

5 Сценарии испытаний

5.1 Общие положения

Количество подводимой к станку энергии зависит от его фактического использования. Сценарий испытания описывает установленную последовательность режимов работы станка (далее — режим смены) и, при необходимости, соответствующие действия станка (обычно для режима работы «Обработка»). Сценарий может включать периоды непродуктивного времени (простои), например по организационным причинам, время технического обслуживания и др. Режим смены определяют в соответствии с фактическим использованием станка на производстве (например, на основе информации, полученной с помощью систем регистрации данных).

Сценарии испытаний могут быть определены двумя способами. Первый способ предусматривает учет общего производственного задания для данного типа станка, т. е. машинный сценарий испытания, при необходимости относящийся к конкретному сектору применения (например, для фрезерных станков, автомобилестроения или производства пресс-форм и штампов). Первый способ предусматривает конкретную производственную задачу (например, изготовление по индивидуальному заказу), далее называемый «сценарий испытания на основе задач».

Примечание — Машинные сценарии испытания приведены в следующих стандартах серии ИСО 14955.

5.2 Машинный сценарий испытания

5.2.1 Общие положения

Машинные сценарии испытания требуют определения режимов смены и соответствующих действий на станке.

5.2.2 Экспериментальный режим смены

Экспериментальный режим смены иллюстрирует, как описывать и управлять эталонной последовательностью режимов работы станка. Он отражает в промышленном масштабе упрощенный сценарий использования станка со средней продолжительностью работы в 2,5 смены при выборе трех характерных режимов работы, в которых задействуют по одному действию на станке, и предполагаемого временного интервала для режима работы «Обработка», равного 80 %. Период оценки по умолчанию составляет 24 ч (см. рисунок 1, таблицу 1).

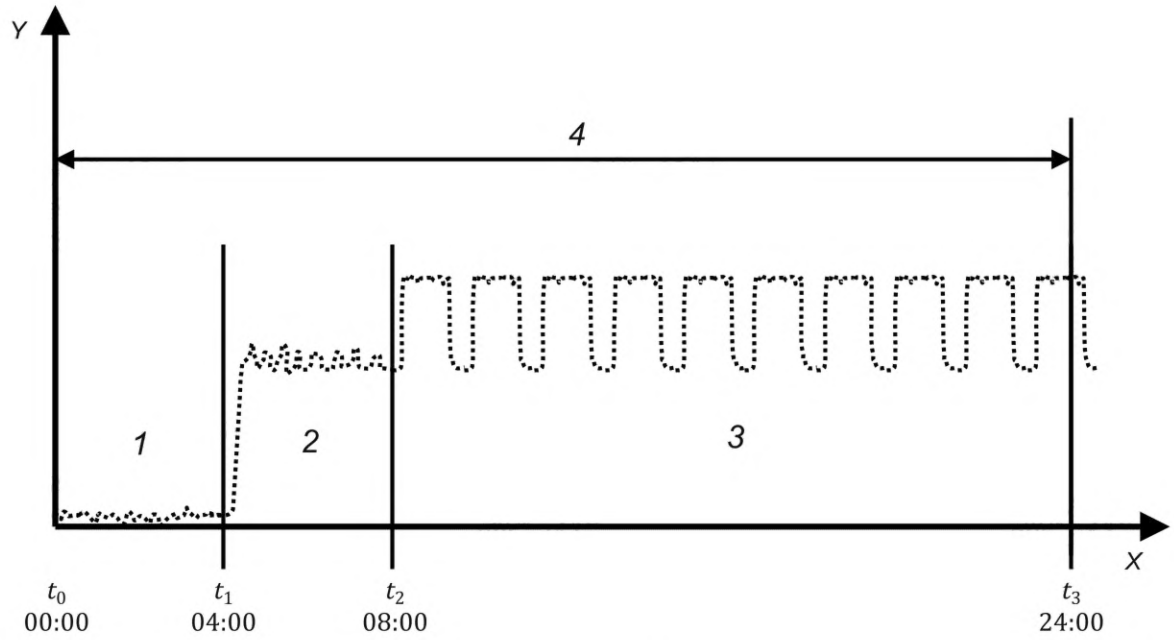
Примечание 1 — Период измерения может быть значительно короче периода оценки (см. 7.7).

Примечание 2 — Энергия, подаваемая в режиме работы «Выключено», может быть значительной, в частности для других ресурсов, помимо электроэнергии.

Таблица 1 — Последовательность режимов работы для пробного режима смены

	Продолжительность	Режим работы	Действие на станке
1	4 ч (0,5 смены)	«Выключено» Режим работы «Выключено» или широко используемый режим работы, когда станок в автоматическом режиме не участвует в производственной деятельности более 1 ч	Отсутствует
2	4 ч (0,5 смены)	«Готов к обработке»	Станок готов к началу обработки, ориентировочное время — в течение 10 с
3	16 ч (2,0 смены)	«Обработка»	Типичный цикл механической обработки с обрабатываемой деталью или без нее

При обработке детали учитывают параметры процесса (например, глубина резания, скорость резания, скорость подачи, тип инструмента, состояние инструмента), исходную деталь (например, тип материала, предварительная обработка детали, включая допуски на предварительно обработанные поверхности), время обработки и допуски на обработанные поверхности (например, допуски на диаметры, положение и ориентацию, форму, шероховатость).



1 — «Выключено»; *2* — «Готов к обработке»; *3* — «Обработка»; *4* — период оценки; *X* — время, ч; *Y* — мощность, Вт

Рисунок 1 — Иллюстрация измерения мощности в экспериментальном режиме смены

5.2.3 Специальный режим смены

5.2.3.1 Мотивация

Специальные режимы смены применяют в тех случаях, когда сценарии использования и/или типовые режимы работы существенно отличаются от экспериментального режима смены. Они могут быть предложением изготовителя/поставщика или результатом договоренности между изготовителем/поставщиком и пользователем. Специальные режимы смены определяют в соответствии с фактическим или предполагаемым использованием станка, т. е. на основе эксплуатационных данных или графиков работы. Могут быть учтены режимы работы, отличные от указанных в 5.2.2 (например, период прогрева). Период оценки должен быть определен таким образом, чтобы свести к минимуму влияние колебаний мощности, вызванных перепадами температур, переключением и управлением периферийными устройствами и другими переходными процессами.

Должны быть определены временной интервал и последовательность каждого режима работы и/или каждого действия на станке.

5.2.3.2 Группирование временных интервалов для специальных режимов смены

В некоторых случаях фактическое использование станка состоит из последовательности операций с многочисленными изменениями режимов работы и действий на станке, как показано в таблице 2. Если по экспертному заключению переходные процессы можно считать незначительными или если их рассматривают как отдельные режимы работы, разрозненные доли времени для каждой последовательности режимов работы и действий со станком могут быть сгруппированы в единую долю периода оценки для выбранного режима смены, как показано для того же периода, пример приведен в таблице 3. Режимы работы и действия со станками классифицируют и нумеруют (например, 0, 1-0, 1-1, 2-0, 2-1) для упрощения группировки. Целью группировки является упрощение режима смены и облегчения процесса измерения и оценки.

Таблица 2 — Пример временных интервалов режимов работы и действий на станке в пределах специального режима смены

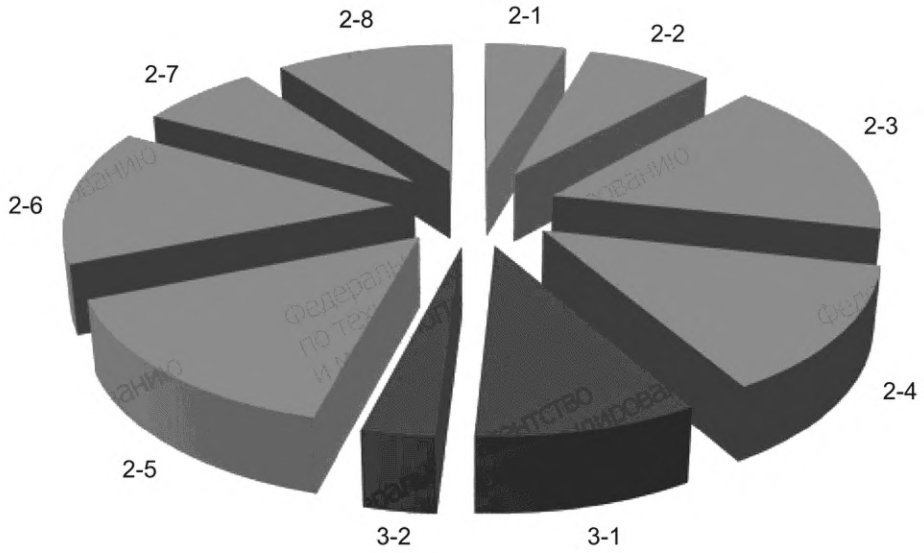
Режим работы	«Готов к обработке»		«Обработка»					«Выключено»	«Готов к обработке»	«Обработка»		«Готов к обработке»	
Номер режима работы	2		3					1	2	3		2	
Номер действия на станке	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1		2	1
Период оценки	10 ч												
Время работы	С 06:00 до 07:00	С 07:00 до 08:00		С 08:00 до 09:00		С 09:00 до 10:00	С 10:00 до 11:00		С 11:00 до 12:00	С 12:00 до 13:00	С 13:00 до 14:00	С 14:00 до 15:00	С 15:00 до 16:00	
Продолжительность, ч	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	1	2		0,5	0,5

Таблица 3 — Пример группировки режимов работы и действий на станке в пределах специального режима смены

Период оценки	10 ч				
Группировка режима смены	«Выключено» номер 1-1 1,0 ч	«Готов к обработке» номер 2-1 1,5 ч	«Готов к обработке» номер 2-2 2,0 ч	«Обработка» номер 3-1 4,5 ч	«Обработка» номер 3-2 1,0 ч

5.2.3.3 Определение специальных режимов смены

В качестве примера на рисунке 2 представлены различные режимы работы и операции механической обработки для процессов гибки на листогибочном прессе. В этом случае фактическая операция гибки (режим работы 3-1) занимает менее 10 % от общего времени производства [11].



2-1 — настройка инструмента: выбрать инструмент, выполнить замену и положить на место хранения.

2-2 — подготовка ПК: загрузить новый заказ с центрального сервера и запрограммировать или адаптировать программу гибки.

2-3 — вспомогательные задачи: перемещение паллет, перекладка листов, подсчет, решение административных задач.

2-4 — загрузка нового листа: новый лист установить на задний упор.

3-1 — штамп движется вниз и осуществляет гибку листа: фактический процесс гибки.

3-2 — штамп движется вверх.

2-5 — промежуточное действие: ознакомиться с инструкцией на экране и выполнить операции по обращению с заготовкой между двумя гибками.

2-6 — транспортирование заготовок: отложить заготовки в сторону и уложить их.

2-7 — измерение заготовки: измерить параметры заготовки.

2-8 — удовлетворение человеческих потребностей и отвлекающие факторы: отсутствие; действия, напрямую не связанные с производством.

Рисунок 2 — Режимы работы и действия на станке в процессе гибки [11]

В данном случае сценарий использования существенно отличается от экспериментального режима смены:

- различные действия на станке выполняют в режиме работы «Готов к обработке», с интервалом времени в 77,2 %: 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7;
- время в режиме работы «Обработка» составляет 12,5 %: 3-1, 3-2;
- выполняемая вручную операция вызывает простой по причине удовлетворения человеческих потребностей и отвлечения внимания в режиме работы «Готов к обработке», при этом время обработки составляет 10,2 %: 2-8.

Эти режимы включают в себя только занятое время, т. е. не относятся к режиму работы «Выключено». Из-за необходимости присутствия оператора сценарий использования основан только на двух сменах. Таким образом, может быть составлен специальный режим смены, как показано в таблице 4, включающий одну смену продолжительностью 8 ч в режиме работы «Выключено».

Таблица 4 — Пример специального режима смены для пневматического гибочного станка в соответствии с рисунком 2

Период оценки: 24 ч		
«Выключено»: 8 ч	«Готов к обработке»: 14 ч; номера: 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8	«Обработка»: 2 ч; номера: 3-1, 3-2

5.2.3.4 Сокращенный режим смены

В дополнение к группировке долей времени режимы смены могут быть дополнительно упрощены до сокращенных режимов смены двумя способами.

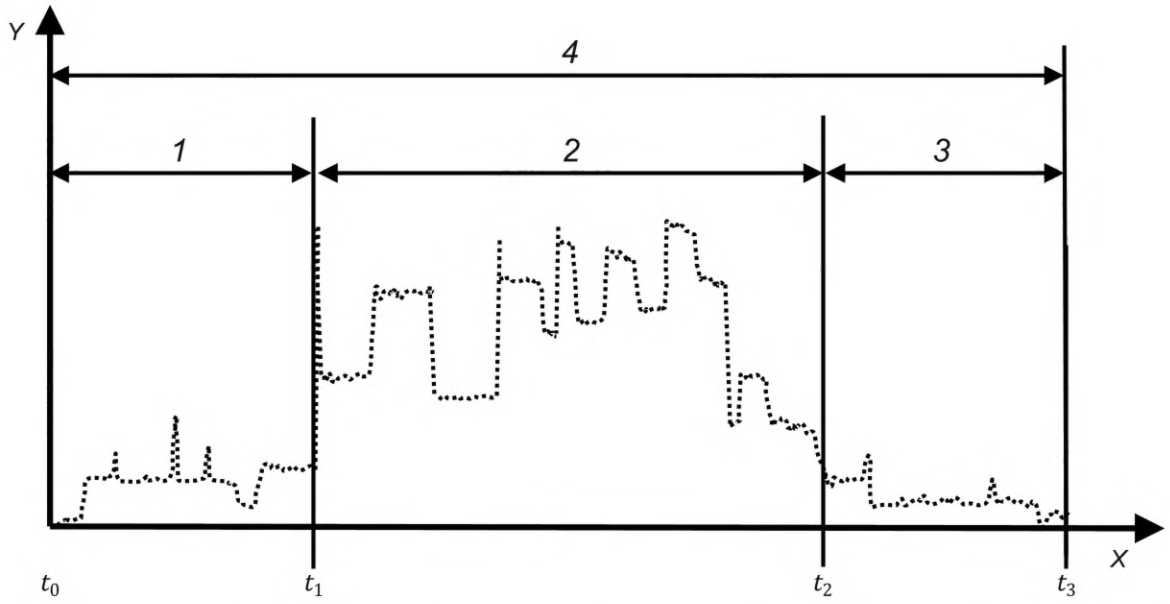
Действия на станке и/или режимы работы при аналогичной подаче энергии в течение заданного интервала времени могут быть сгруппированы, как показано в 5.2.3.3.

Режимы работы с незначительным влиянием на общее количество энергии, подаваемой на станок, могут быть пропущены. Например, при наличии специального режима работы станка для смены инструмента, который в данном случае используют редко, и средняя мощность в этом режиме работы ненамного выше, чем в другом режиме работы, этот режим работы может быть пропущен. Ориентировочное значение незначительного периода применения режима работы составляет 1 % от периода оценки, или 15 мин за 24 ч.

5.3 Сценарий испытания на основе задач

Сценарии испытания, построенные на задачах, должны быть основаны на конкретном приложении (например, на станке, специально сконфигурированном для производства одной детали или группы деталей). Сценарии испытания, основанные на задачах, должны быть согласованы между изготовителем/поставщиком и пользователем.

Определение задачи должно включать в себя геометрические характеристики детали и описание ее особенностей, параметры качества детали и допустимое время ее обработки. Следует измерять допуски и учитывать время обработки на выполнение операций, а также устанавливать процедуру обработки деталей, выходящих за пределы допусков (например, дополнительное потребление энергии деталями, включая материал, поскольку детали, выходящие за пределы допусков, являются браком), время обработки, превышающее установленное максимальное время обработки, т. е. сравнение избыточного времени обработки со временем, предусмотренным в технических условиях. Схема процесса изготовления детали должна включать необходимое время простоя, как показано на рисунке 3.



1 — «Предварительная обработка»; *2* — «Обработка»; *3* — «Последующая обработка»; *4* — период оценки, *X* — время, ч; *Y* — мощность, Вт

Рисунок 3 — Пример измерения мощности во время сценария испытания, основанного на задачах

6 Определение системы измерений

Измерения выполняют с целью определения надлежащего количества подводимой энергии, проходящей через границы системы в соответствии с ИСО 14955-1 в воспроизводимых условиях. Граница системы должна быть определена так, чтобы включить все необходимые компоненты станка и обеспечить измерения на границе системы.

Базовой точкой является общий объем подводимой электрической энергии. В оценку могут быть включены другие виды энергии, если они являются значимыми. Количество другой подводимой энергии, кроме электрической, учитывают, если эквивалент электрической энергии превышает 10 % от общего количества электрической энергии, подводимой в течение периода оценки.

Должны быть перечислены виды подводимой энергии, которые считают несущественными, и должно быть приведено обоснование того, что они признаны таковыми.

Оценка может быть выполнена поэтапно в следующем порядке, а количество энергии может быть рассчитано следующим образом:

$$W_{Sys} = W_a + W_b + W_c + W_d, \quad (1)$$

где W_{Sys} — общее количество подводимой энергии;

W_a — количество подводимой электрической энергии;

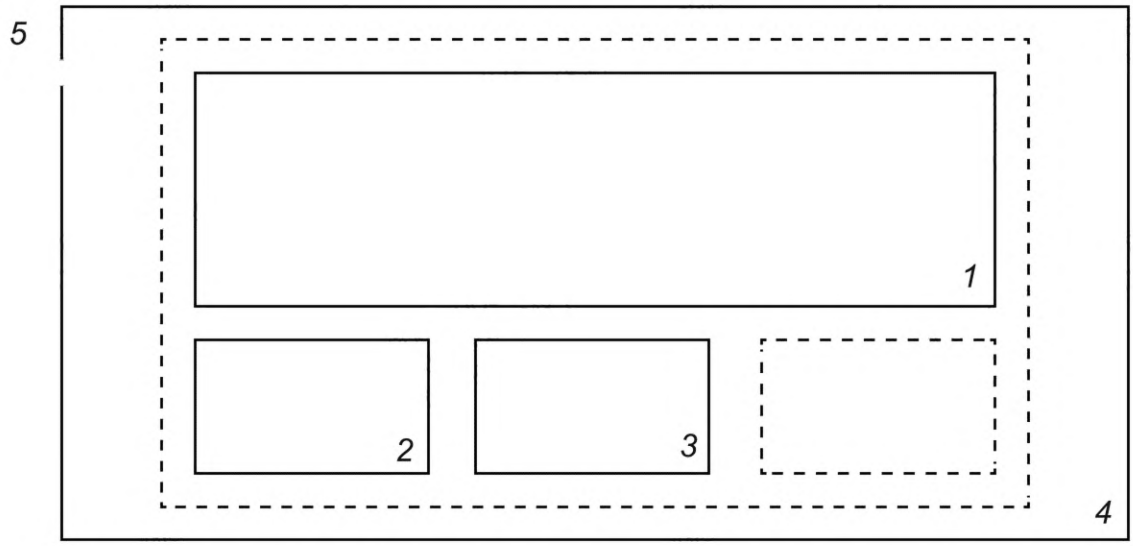
W_b — количество энергии, подводимой от источников питания через границу системы, с измерением только на входе;

W_c — количество энергии, подводимой от источников питания через границу системы, с измерением на входе и выходе;

W_d — количество энергии, подводимой от других функций.

Примечание — Подводимая энергия не обязательно является физическим потоком энергии, пересекающим границу системы. Например, если станку требуется обмен тепла с использованием контура водяного охлаждения, то подводимая энергия эквивалентна электрической энергии охлаждающей жидкости, т. е. энергии, необходимой для перекачки и охлаждения охлаждающей жидкости заводской установкой.

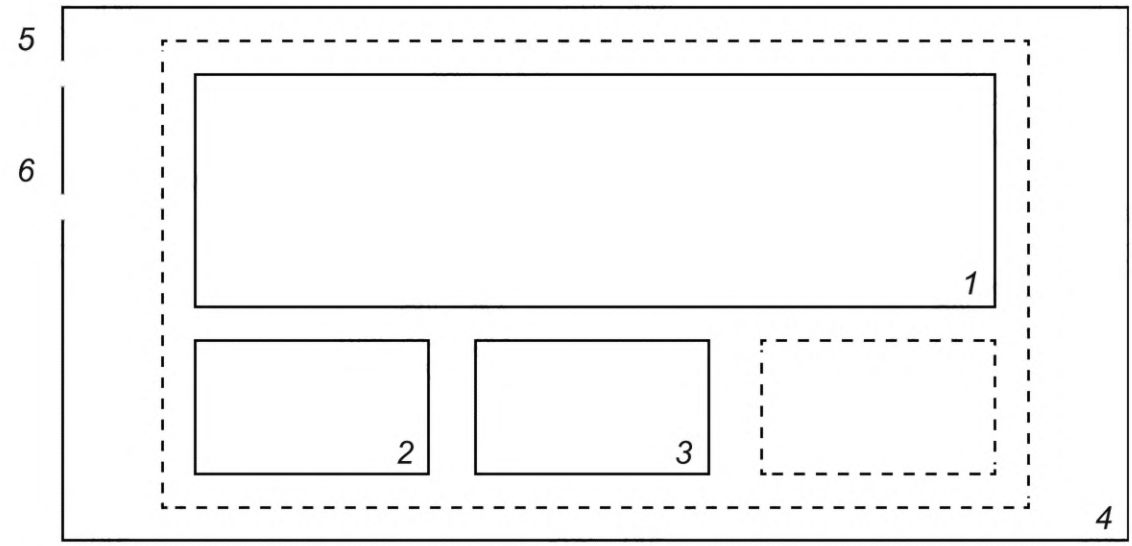
a) Электрическая энергия (см. рисунок 4).



1 — станок; *2* — периферийное устройство A; *3* — периферийное устройство B; *4* — граница системы; *5* — электрическая энергия

Рисунок 4 — Базовая точка для оценки количества подводимой электрической энергии

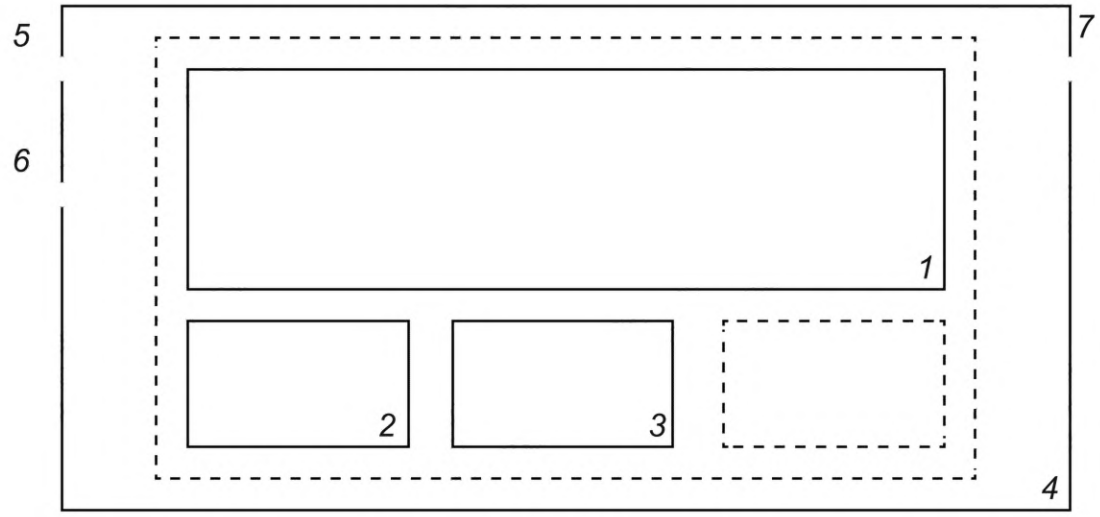
b) Поставка через границу системы с возможностью измерения только на входе (например, сжатый воздух) (см. рисунок 5).



1 — станок; *2* — периферийное устройство A; *3* — периферийное устройство B; *4* — граница системы; *5* — электрическая энергия; *6* — сжатый воздух

Рисунок 5 — Включение подачи сжатого воздуха

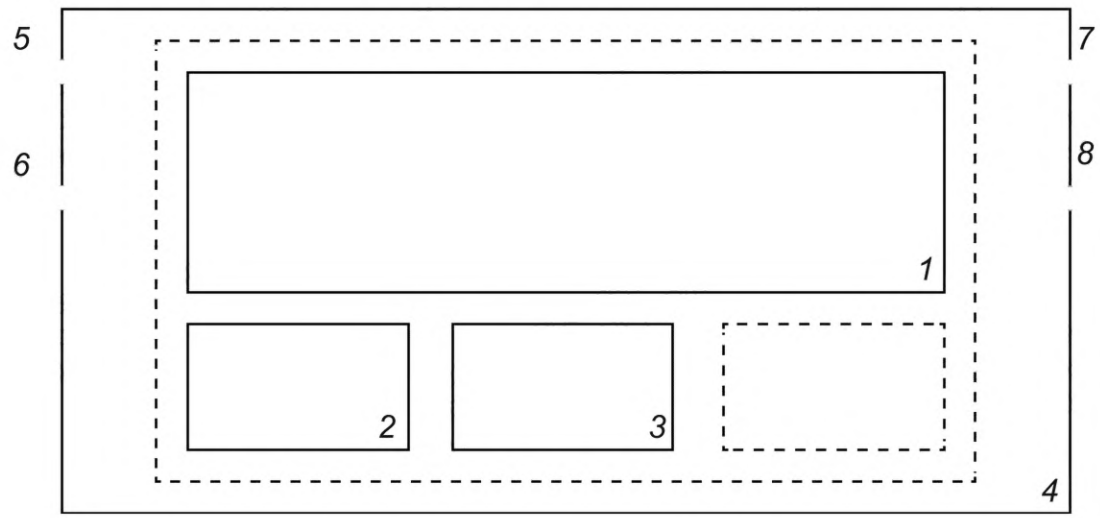
c) Поставка через границу системы с возможностью измерения на входе и выходе (например, контур водяного охлаждения для теплообмена) (см. рисунок 6).



1 — станок; *2* — периферийное устройство А; *3* — периферийное устройство В; *4* — граница системы; *5* — электрическая энергия; *6* — сжатый воздух; *7* — охлаждающая жидкость

Рисунок 6 — Включение контура водяного охлаждения

d) Другие функции, энергия для которых поступает в основном в виде электрической энергии (например, удаление загрязненного воздуха) (см. рисунок 7) или собственных ресурсов (например, технологического газа, получаемого на заводской установке).



1 — станок; *2* — периферийное устройство А; *3* — периферийное устройство В; *4* — граница системы; *5* — электрическая энергия; *6* — сжатый воздух; *7* — охлаждающая жидкость; *8* — загрязненный воздух

Рисунок 7 — Включение функции удаления загрязненного воздуха

7 Система и методика измерения

7.1 Выбор точек измерения

Как минимум, каждый подвод электрической энергии следует измерять на границе системы. Кроме того, для значимых компонентов станка, к которым поступает электрическая энергия на границе системы, следует предусмотреть точку измерения внутри границы системы. Компонент станка считают значимым и учитывают при измерении, если подвод всех видов энергии к нему превышает 10 % общего количества электрической энергии. Это допущение может быть основано на опыте эксплуатации аналогичных станков, оценочных или расчетных данных.

В целом, точки измерения должны обеспечивать функциональное соответствие компонентов станка функциям станка в соответствии с ИСО 14955-1 для 80 % или более подводимой к станку энергии в течение периода их оценки.

Примечание — Информация об оптимизации и измерениях системы сжатого воздуха приведена в ИСО 11011.

7.2 Измерение мощности и расчет подводимой энергии

Измерение мощности является основой для оценки подводимой энергии путем суммирования мощности за конкретный период времени. Для определения энергии, подводимой к компонентам станка, в соответствии с требованиями ИСО 14955-1:2017 (6.4.2) мощность, подводимая к компонентам станка, может быть установлена путем измерения вспомогательных значений (например, напряжения и силы тока, давления и скорости потока) с последующим расчетом мощности и энергии.

Измерение мощности в системах, описанных в настоящем стандарте, не может охватывать все возможные технические решения, но определяет принцип выполнения измерения мощности для других аналогичных систем. Примеры установок для измерения мощности, предназначенных для конкретных станков, приведены в соответствующих приложениях стандартов серии ИСО 14955.

Формулы для расчета подводимой энергии и энергоэффективности приведены в приложении D, примеры установок для измерения мощности — в приложении E.

Примечание — Примером может служить измерение давления и хода амортизатора штампа и расчет энергии путем умножения хода амортизатора на его усилие (площадь, умноженная на давление) или расчет мощности путем умножения скорости амортизатора штампа на его усилие.

Энергию, подводимую на границе системы во время режима смены, рассчитывают путем умножения средней мощности режимов работы и действий на станке на их временные доли в режиме смены.

Для экспериментального режима смены в соответствии с 5.2.2 общую подводимую энергию рассчитывают по формуле:

$$W_{total} = 4P_{OFF} + 4P_{READY\ FOR\ PROCESSING} + 16P_{PROCESSING}, \quad (2)$$

где W_{total} — общее количество подводимой энергии за период оценки, кВт·ч;

P_{OFF} — средняя мощность, измеренная в режиме работы «Выключено», кВт;

$P_{READY\ FOR\ PROCESSING}$ — средняя мощность, измеренная в режиме работы «Готов к обработке», кВт;

$P_{PROCESSING}$ — средняя мощность, измеренная в режиме работы «Обработка», кВт.

Примечание — Периоды времени для P_{OFF}, $P_{READY\ FOR\ PROCESSING}$ и $P_{PROCESSING}$ приняты по данным таблицы 1.

Для специальных режимов смены формула (2) должна быть соответствующим образом скорректирована.

7.3 Одновременное измерение

Одновременное измерение обеспечивает оперативный и надежный сбор данных. Его следует выполнять с помощью многоканального измерительного оборудования, количество измерительных каналов которого соответствует количеству измеряемых компонентов станка плюс один для измерения энергии, подаваемой в точке входа.

7.4 Квазиодновременное измерение

Если доступно меньше измерительных каналов, чем требуется для одновременного измерения, может быть использовано квазиодновременное измерение. По сравнению с одновременным измерением, квазиодновременное измерение обеспечивает надежный сбор данных в ущерб времени. Его выполняют в стабильных условиях с помощью измерительного оборудования, имеющего как минимум два канала или два синхронизированных измерителя мощности. В то время как один канал должен непрерывно измерять общую мощность, подводимую к станку во время измерения, другой канал должен подключаться к различным компонентам станка один за другим без прерывания их функционирования. Преимущество этого метода заключается в том, что он может быть использован в режимах с распределенным временем работы и периодически повторяющимися операциями на станке, что обеспечивает стабильные условия в течение более длительных интервалов времени. Следует действовать осмотрительно, так как многие компоненты работают с перерывами в течение длительного времени, и проводить экспертную оценку.

7.5 Измерительное оборудование

7.5.1 Общие требования

Выбранное измерительное оборудование должно быть подходящим (например, по разрешающей способности и диапазону измерений) для решения текущей задачи. Оборудование должно быть откалибровано, а погрешность измерений должна быть указана в протоколе испытаний (см. раздел 8).

Измерительное оборудование должно подавлять любое влияние переходных процессов, искажающих результат измерения. Частота дискретизации системы сбора данных должна быть соответствующей для корректного измерения колебаний значений в течение периода измерения. Должны быть указаны параметры оборудования, влияющие на его точность из-за влияния условий, отличных от номинальных (таких как высокочастотные искажения измеряемых сигналов). Примерами являются частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя, частота фильтра сглаживания или соответствие применимым стандартам (например, МЭК 62053-22).

Примечание — Интегрированные устройства станка могут быть измерительным оборудованием.

7.5.2 Оборудование для электрических измерений

При эксплуатации оборудования, предназначенного для проведения электрических измерений, должны быть получены следующие данные:

- активная электрическая мощность, т. е. ваттметр;
- электрическая энергия в течение периода измерения или средняя электрическая мощность в течение периода измерения.

Примечание — Дополнительные показатели, кроме измерения энергии, подводимой к станку, такие как пиковая мощность, полная мощность (см. [13]) и т. д., в настоящем стандарте не рассмотрены.

7.5.3 Оборудование для измерения потока жидкости

Калориметрическое измерительное оборудование подходит для измерения потока воздуха и жидкости. Для определения потока жидкости (например, минерального масла) могут быть выполнены измерения и расчеты других величин (см. также рисунок В.1).

Температуру жидкости измеряют датчиками, помещенными в жидкость или расположенными снаружи на поверхности термически неизолированной трубы (см. также приложение В).

7.6 Единицы измерения

Все результаты измерений должны быть представлены следующим образом в единицах измерительного прибора:

- активную электрическую мощность выражают в киловаттах или ваттах, кВт или Вт; электрическую энергию — в киловатт в час или ватт в час, кВт·ч или Вт·ч;
- пневматическую энергию измеряют как стандартный массовый поток в соответствии с ИСО 1217 при стандартной эталонной атмосфере согласно ИСО 8778, объединяют по времени и выражают в кубических метрах в стандартной эталонной атмосфере [$м^3$ (норм.л/мин) (ANR)] при заданном номинальном давлении на входе в станок. В качестве альтернативы может быть измерен массовый поток, объединенный по времени и переведенный в кубический метр в стандартной эталонной атмосфере [$м^3$ (норм.л/мин) (ANR)];
- измерения жидкости включают температуру в градусах Цельсия, °С, объемный поток выражен в литрах в минуту, л/м, объединенный по времени и выраженный в виде объема в кубических метрах, $м^3$, и давления в паскалях, Па.

7.7 Период измерения

Период измерения по умолчанию является периодом оценки. На основании экспертного заключения или мониторинга результатов измерений во время измерений период измерения может быть сокращен до минимума — 5 мин, а подводимая энергия должна быть экстраполирована на соответствующий режим смены. Причина сокращения должна быть указана в протоколе испытаний. Типичными причинами для сокращения периода измерения являются повторяющиеся изменения или стабилизация через некоторое время подаваемой мощности.

7.8 Пересчет измеренных значений

Для облегчения интерпретации и сопоставления результатов измерений всю подводимую к станку энергию выражают в киловатт в час или ватт в час, кВт·ч или Вт·ч.

Если единица измерения измерительного прибора отличается от единиц электрической мощности или электрической энергии, то значение должно быть преобразовано в эквивалент электрической энергии (см. 7.9), т. е. в кВт·ч или Вт·ч, необходимый для выражения энергии, подводимой к станку в месте его расположения или в сопоставимых промышленных условиях. Принятый метод пересчета измеренных значений должен быть указан в протоколе испытаний.

Если подводимая энергия не является электрической или изначально не являлась электрической или если пересчет значений не проводился или невозможен по другим причинам, значения должны быть выражены в единицах измерения измерительного прибора, интерпретированы отдельно и зарегистрированы в протоколе испытаний.

7.9 Эквивалент электрической энергии

7.9.1 Стандартные коэффициенты пересчета

Для расчета эквивалента электрической энергии предпочтительно применять стандартные коэффициенты пересчета. Они могут быть предложены изготовителем/поставщиком или могут быть результатом согласования между изготовителем/поставщиком и пользователем (см. также приложение А).

7.9.2 Определение эквивалента электрической энергии

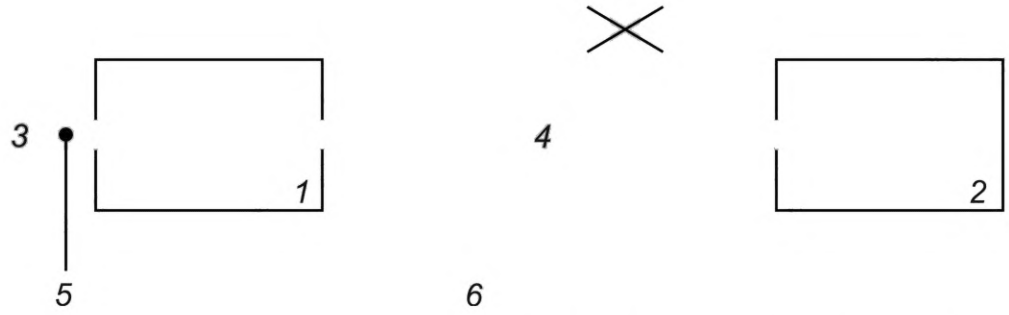
Если соответствующие коэффициенты пересчета эквивалента электрической энергии отсутствуют, они могут быть установлены посредством одним из следующих методов:

- определение по методу a): заводскую установку для подвода энергии включают в границы системы и измеряют электрическую энергию, подводимую к этой заводской установке. Этот метод применим только в том случае, если отсутствует необходимость измерять энергию, подводимую на уровне компонентов (см. 7.1);

- определение по методу b): энергию, подводимую к станку, определяют количественно путем измерения конкретных параметров, т. е. соответствующих физических величин (например, давления, потока, температуры). Затем вычисляют эквивалент электрической энергии путем применения коэффициента пересчета к этим параметрам. Для данного метода необходимо наличие подходящего набора параметров, постоянных коэффициентов пересчета, т. е. линейной зависимости между эквивалентом электрической энергии и подводимой энергией, а также подходящих систем измерения перечисленных параметров. Кроме того, коэффициент пересчета должен быть указан или определен по методу a).

Например, эквивалент электрической энергии сжатого воздуха устанавливают с помощью обоих способов:

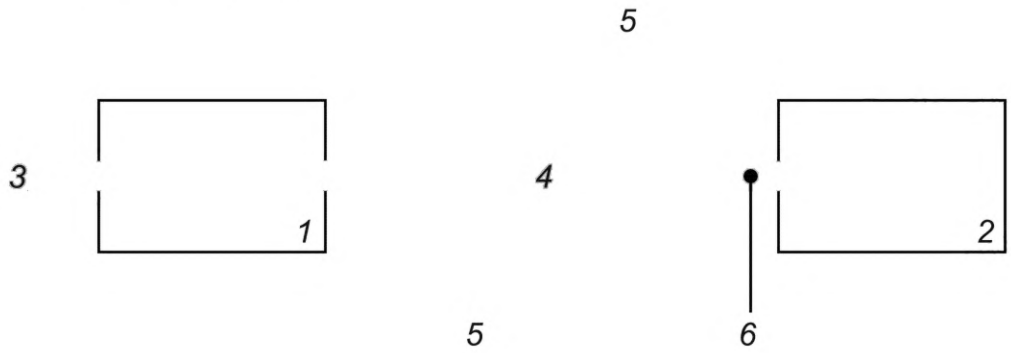
- определение по методу a): станок подключен к заводской системе подачи сжатого воздуха. Все прочие потребители, подключенные к этой же системе, либо отключены, либо находятся в стабильном состоянии во время измерения. Электрическую энергию, подводимую к системе подачи сжатого воздуха, измеряют как при наличии испытуемого станка, так и без него (см. рисунок 8) в точке измерения i. Эквивалент электрической энергии представляет собой разницу в количестве электрической энергии, подаваемой в систему подачи сжатого воздуха, при работе испытуемого станка и при его простое. Для получения достоверных результатов необходимо тщательно изучить другие возможные потребители сжатого воздуха. Увеличение электрической энергии, подводимой к компрессору во время работы станка, должно быть на 50 % больше общей электрической энергии, поскольку незначительное увеличение мощности компрессора приводит к высокой неопределенности результатов. Продолжительность измерения должна составлять не менее 30 мин. Необходимо учитывать рабочий цикл компрессора;



1 — подача сжатого воздуха; *2* — станок; *3* — электрическая энергия; *4* — сжатый воздух; *5* — точка измерения i; *6* — выход для постоянного потока

Рисунок 8 — Определение эквивалента электрической энергии сжатого воздуха по методу a)

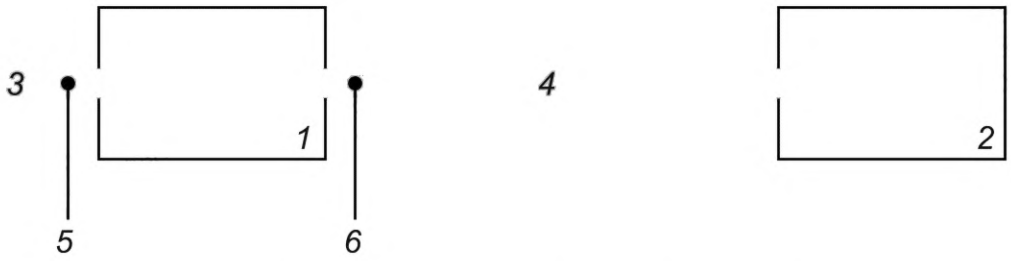
- определение по методу b): сначала в точке ii измеряют поток сжатого воздуха, поступающего на станок, и суммируют в течение определенного периода времени, получая значение, представляющее объем сжатого воздуха (см. рисунок 9).



1 — подача сжатого воздуха; *2* — станок; *3* — электрическая энергия; *4* — сжатый воздух; *5* — выход для регулируемого потока; *6* — точка измерения ii

Рисунок 9 — Измерение объема сжатого воздуха на входе в станок по методу b)

При раздельном измерении на выходе из заводской системы подачи поток сжатого воздуха суммируется по времени в двух различных рабочих точках, т. е. при низкой и высокой нагрузках (см. рисунок 10, точка измерения iii). Одновременно измеряют электрическую энергию, подводимую к заводской системе подачи (см. рисунок 10, точка измерения i). Разница электрической энергии, деленная на разницу в суммарном потоке по двум измерениям, является значением коэффициента пересчета.



1 — подача сжатого воздуха; *2* — станок; *3* — электрическая энергия; *4* — сжатый воздух; *5* — точка измерения i; *6* — точка измерения iii

Рисунок 10 — Определение коэффициента пересчета по методу b)

Разница в суммарном потоке при низкой и высокой нагрузках должна быть на 50 % больше номинального суммарного потока в точке измерения iii, время объединения должно составлять не менее 30 мин, а давление в начале и в конце времени объединения должно быть одинаковым. Затем путем умножения этих двух значений рассчитывают эквивалент электрической энергии. Примеры пересчета значений энергии приведены в приложении А; примеры измерений неэлектрической энергии — в приложении В.

8 Погрешность измерений

Погрешность измерений оценивают для всех видов измерений и указывают в протоколе испытания. При этом учитывают, как минимум, следующие факторы, влияющие на погрешность измерений:

- погрешность измерительного оборудования (см. 7.5);
- погрешность процесса измерений, обусловленная, главным образом, колебаниями подводимой мощности.

9 Представление результатов

9.1 Представление результатов отдельных измерений

9.1.1 Описание системы

Протокол по каждому виду измерений составляют следующим образом:

a) вид процесса обработки;

b) изготовитель, тип станка, серийный номер, год изготовления станка, вспомогательные и периферийные устройства в границах системы;

c) номинальная электрическая мощность станка;

d) номинальная электрическая мощность периферийных устройств и компонентов станка в случае индивидуального измерения.

9.1.2 Описание установки для измерения

Протокол по каждой установке для измерения составляют следующим образом:

a) типы подводимой измеряемой энергии, кроме электрической;

b) тип измерительного оборудования и погрешность его измерений;

c) условия окружающей среды (если применимо, изменение условий окружающей среды);

d) режимы работы (если применимо, изменение режимов работы);

e) действия на станке (если применимо, изменение действий на станке);

f) точки измерения.

9.1.3 Описание результатов измерения

Протокол по результатам измерений составляют следующим образом:

a) функциональное назначение компонентов;

b) дата, время и продолжительность измерения;

c) подводимая энергия для каждого режима работы;

d) если применимо, причина выбора периода измерения, меньшего, чем период оценки;

e) расчетная средняя электрическая мощность, равная подводимой энергии, деленной на продолжительность измерения;

f) соотношение мощности и времени.

В протоколе испытаний должны быть указаны режимы работы и действия, выполняемые на станке.

Пример протокола измерений приведен в приложении С.

9.2 Отображение измеренных значений и их интерпретация

Измеренные значения должны быть сопоставлены с функциями станка (ИСО 14955-1:2017, 6.3.10), и соответствующие функции станка должны быть определены (ИСО 14955-1:2017, 6.4.1).

Различные условия окружающей среды, режимы работы и действия на станке определяют профиль энергии, подводимой к станку.

Применение экспериментального или специального режима смены приводит к общему распределению энергии, подводимой к станку.

Пример сопоставления измеренных значений к функциям станка приведен в приложении С.

9.3 Протокол измерений

В протоколе измерений должно быть указано следующее:

a) определение сценариев испытаний (см. раздел 5);

b) если применимо, эквивалент электрической энергии;

c) количественное функциональное сопоставление компонентов станка функциям станка в соответствии с ИСО 14955-1:2017, 6.3.10;

d) количественные значения функций станка;

e) а также рекомендуется прилагать гистограмму в соответствии с ИСО 14955-1:2017, 6.4.1.

Пример отчета о результатах измерений приведен в приложении С.

Приложение А
(справочное)

Эквивалент электрической энергии

А.1 Общие положения

В настоящем приложении приведены правила определения эквивалента электрической энергии (см. 7.9).

А.2 Сжатый воздух

Эквивалент электрической энергии сжатого воздуха зависит от термодинамических условий, производительности компрессора и потерь при хранении и распределении. Наименьшее значение эквивалента электрической энергии достигается при безупречном изотермическом сжатии. В случае адиабатического сжатия эквивалент электрической энергии выше в соответствии с законами термодинамики.

Согласно результатам исследований в условиях практической эксплуатации установлено, что электрическая энергия, необходимая для подвода 1 м^3 (ANR) сжатого воздуха на вход станка из центральной заводской сети, обычно составляет от 0,11 до 0,13 кВт·ч [12].

При наличии современной системы подачи сжатого воздуха средней производительности с низким уровнем утечек, современными масляными и холодильными компрессорами воздуха, минимальным временем простоя и низким уровнем потерь давления в трубопроводах сжатого воздуха можно получить существенно более высокие эквивалентные значения.

Утилизацию отработанного тепла считают важным инструментом, применяемом во многих современных системах сжатого воздуха, использующих тепло сжатия для замены энергии, потребляемой при нагревании или охлаждении, но в существующих установках этот метод еще не стандартизован. Таким образом, в таблице А.1 частично рассмотрена экономия энергии за счет использования отработанного тепла. Эквивалент электрической энергии не является электрической энергией, подводимой к компрессору, но отражает общее значение, учитывающее экономию электрической или другой формы энергии за счет среднего коэффициента использования отходящего тепла.

Таблица А.1 — Примеры эквивалентов электрической энергии на 1 м^3 (ANR)

Номинальное манометрическое давление подачи, кПа	Теоретическое значение для изотермического сжатия, кВт·ч [14]	Теоретическое значение для адиабатического сжатия, кВт·ч [14]	Наилучшая доступная технология с рекуперацией тепла, кВт·ч [15]	Среднее промышленное значение, кВт·ч [12]
300	0,030	0,035	0,060	От 0,11 до 0,13
600	0,050	0,067	0,085	
1000	0,064	0,093	0,105	
1600	0,077	0,120	0,145	

Значения, отличные от указанных в таблице А.1 в качестве наилучшей доступной технологии с рекуперацией тепла, могут быть применены в соответствии с условиями, указанными в следующих пунктах, или согласно значениям, основанным на измерениях, относящихся к испытуемому станку (см. 7.9).

Фактический эквивалент электрической энергии сжатого воздуха на конкретном заводе может варьироваться от минус 40 % при эффективной рекуперации отработанного тепла до плюс 40 % и более при использовании устаревших систем подачи сжатого воздуха с избыточным сжатием, чрезмерным временем простоя, высокой утечкой и с другими недостатками [15].

В соответствии со специальными требованиями, относящимися к определенным областям применения, в качестве эмпирического правила могут быть применены следующие поправки к значениям, указанным для наилучшей доступной технологии с рекуперацией тепла:

- в случае потребности в воздухе, не содержащего масла, значение умножают на 1,1;
- в случае потребности температура росы под давлением менее 0 °С значение дополнительно умножают на 1,05;
- в случае температуры точки росы под давлением менее минус 40 °С значение умножают на 1,1.

Значения манометрических давлений, отличные от указанных в таблице А.1, аппроксимируют методом линейной интерполяции.

А.3 Отвод загрязненного воздуха

Эквивалент электрической энергии отвода загрязненного воздуха связан с электрической мощностью, используемой для работы вытяжного вентилятора системы пылеудаления, которая зависит от потока воздуха, м^3(ANR)/ч, коэффициента энергоэффективности вентилятора, %, и общего давления, Па:

$$P_{fan} = \frac{Q \cdot p_t}{36 \cdot \eta_{fan}}, \quad (A.1)$$

где P_{fan} — электрическая мощность, используемая вентилятором системы пылеудаления для отвода загрязненного воздуха, Вт;

Q — поток воздуха, м^3(ANR)/ч;

p_t — общее давление, Па;

η_{fan} — коэффициент энергоэффективности вентилятора, %.

$$p_t = p_s + p_d, \quad (A.2)$$

где p_t — общее давление, Па;

p_s — статическое давление, Па;

p_d — динамическое давление, Па.

Динамическое давление зависит от необходимой скорости воздуха в системе отвода загрязненного воздуха от станка. Его можно измерить с помощью трубки Пито (приемника полного давления) или рассчитать следующим образом:

$$p_d = 0{,}5 \cdot \rho \cdot v^2, \quad (A.3)$$

$$p_d = 0{,}625 \cdot v^2, \quad (A.4)$$

где p_d — динамическое давление, Па;

ρ — плотность загрязненного воздуха, кг/м^3(ANR), равная 1,25 кг/м^3(ANR);

v — скорость воздуха, м/с.

Статическое давление связано с потерями давления, вызванными турбулентными течениями в воздуховодах системы удаления загрязненного воздуха от станка. Оно соответствует перепаду давления на входе всех устройств и точкой подключения к системе удаления стружки и пыли (CADES).

Согласно результатам практических исследований, энергия, необходимая для удаления 1 м^3(ANR)/ч загрязненного воздуха, поступающего от станка, с помощью центробежных вентиляторов, составляет от 1,157 до 2,083 Вт·ч, при типичном перепаде давления 3500 Па и скорости воздуха в воздуховодах 20 м/с.

Примечание — Типичный перепад давления 3500 Па соответствует перепаду давления на отводящих воздуховодах станка в 1500 Па плюс 2000 Па в системе удаления стружки и пыли (включая пылеуловитель), к которой подключен станок.

Более подробные значения приведены в таблице А.2 с учетом типичной скорости воздуха в воздуховодах, равной 20 м/с, разных значений статических давлений и коэффициентов энергоэффективности воздушного вентилятора.

Таблица А.2 — Примеры эквивалентов электрической энергии для 1 м^3 (ANR) отводимого загрязненного воздуха

Статическое давление p_s, Па	Динамическое давление p_d, Па	Эквивалент электрической энергии, Вт·ч				
		η_{fan} = 0,5	η_{fan} = 0,6	η_{fan} = 0,7	η_{fan} = 0,8	η_{fan} = 0,9
500	250	0,417	0,347	0,298	0,260	0,231
1000	250	0,694	0,579	0,496	0,434	0,386
1500	250	0,972	0,810	0,694	0,608	0,540
2000	250	1,250	1,042	0,893	0,781	0,694
2500	250	1,528	1,273	1,091	0,955	0,849
3000	250	1,806	1,505	1,290	1,128	1,003
3500	250	2,083	1,736	1,488	1,302	1,157
4000	250	2,361	1,968	1,687	1,476	1,312
4500	250	2,639	2,199	1,885	1,649	1,466

Приложение В
(справочное)

Измерение подводимой энергии (кроме электрической)

В.1 Измерение пневматической энергии

Избыточное давление воздуха, поступающего внутрь границ системы, соответствует минимальному номинальному значению, указанному изготовителем станка.

Как правило, объем измеряют с погрешностью более 6 % (коэффициент охвата $k = 2$), в то время как отклонения давления подачи должны быть в пределах ±25 кПа.

Примечание — Поскольку многие устройства, потребляющие сжатый воздух, имеют объем потребления, пропорциональный абсолютному давлению, более высокие отклонения давления снижают точность измерения.

Исключение 1: если доля сжатого воздуха составляет более 30 % подводимой к станке энергии, рекомендуют измерять объем с погрешностью более 3 % (коэффициент охвата $k = 2$) и контролировать избыточное давление воздуха, поступающего внутрь границ системы, в пределах ±10 кПа.

Исключение 2: если доля сжатого воздуха составляет менее 10 % общей подводимой энергии за период оценки, погрешность измерения объема должна составлять более 15 % (коэффициент охвата $k = 2$). В этом случае может быть применена следующая упрощенная процедура измерения:

- сжатый воздух должен подаваться из баллона высокого давления, подключенного только к станку;
- баллон должен содержать сухой сжатый воздух температурой (20 ± 10) °С;
- емкость резервуара должна быть достаточно большой, чтобы давление в конце периода измерения превышало 50 % от начального давления;
- давление на границе станка должно поддерживаться постоянным на требуемом уровне с помощью редуктора давления;
- необходимо контролировать разницу между начальным давлением в резервуаре и давлением в конце периода измерения.

С учетом допустимого изотермического расширения объем воздуха рассчитывают следующим образом:

$$V = \Delta p \cdot V_{pt}, \quad (B.1)$$

где V — объем воздуха, $м^3$(ANR);

Δp — перепад давления, кПа;

V_{pt} — объем баллона высокого давления, $м^3$.

В.2 Измерение теплообмена

В станках обычно используют две различные системы теплообмена:

- жидкостные теплообменники (например, масло/вода);
- жидкостно-воздушные теплообменники.

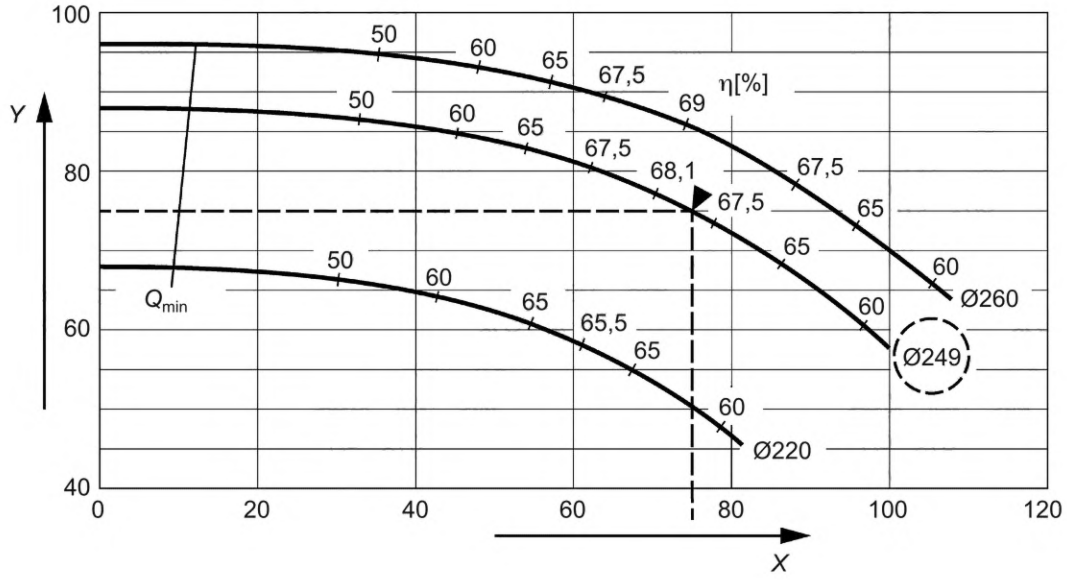
В обеих системах полезная энергия может быть рассчитана путем измерения температуры и потока на входе и выходе (результатом является мощность) и времени. Измерение потока гидравлических жидкостей описано в соответствующих стандартах [4], [5].

Обычно сторону теплообменника, подсоединенную к подлежащей охлаждению жидкости, называют «горячей» стороной; сторону, подсоединенную к охладителю — «холодной» стороной.

Если теплоемкость жидкости на «горячей» стороне меньше теплоемкости воды (например, гидравлического масла), это приводит к проблемам при измерении потока обычными промышленными калориметрическими датчиками. Вращающиеся расходомеры являются дорогостоящими, а их долговременная надежность ограничена из-за вращающихся деталей. Во время охлаждения этих жидкостей дополнительным способом измерения потока на «горячей» стороне являются измерение разности давлений на входе и выходе циркуляционного насоса и получение значения из характеристик насоса, указанных изготовителем насоса (см. рисунок В.1). Если характеристики насоса основаны на удельной плотности (например, для лопастных насосов), следует учитывать плотность жидкости. Учитываемая частота вращения насоса должна быть средней между частотой вращения на холостом ходу и номинальной частотой вращения установленного двигателя.

Температуру следует измерять с помощью датчиков, установленных на минимальном расстоянии от входных и выходных отверстий (портов) теплообменника.

На «горячей» стороне в мощность, подаваемую на теплообменник, уже включена мощность, необходимая для создания потока, и дальнейшее измерение этой энергии не требуется. К результатам измерений добавляют энергию, необходимую для создания потока воздуха или охлаждающей жидкости.



Q_{min} — минимально допустимый поток, м^3/ч; η — коэффициент энергоэффективности насоса, %; *X* — поток, м^3/ч; *Y* — высота накачивания, м

Примечания

1 Выделенная рабочая точка для колеса диаметром 249 мм; давление соответствует высоте накачивания 75 м, скорость потока составляет 75 м^3/ч.

2 Коэффициент энергоэффективности насоса при указанных условиях эксплуатации составляет 67,8 %.

Рисунок В.1 — Пример характеристик лопастных насосов с различным диаметром рабочего колеса в течение 2900 мин$^{-1}$

На «холодной» стороне на жидкостно-воздушных теплообменниках мощность, необходимую для обеспечения потока воздуха через теплообменник, легко измерить (т. е. мощность, подаваемую на вентилятор), при этом мощность, необходимая для обеспечения потока воды для конкретного станка в реальных условиях, выходит за рамки возможностей производителей станков. Приведенный выше метод измерения полезной энергии применим как для жидкостных, так и для жидкостно-воздушных теплообменников.

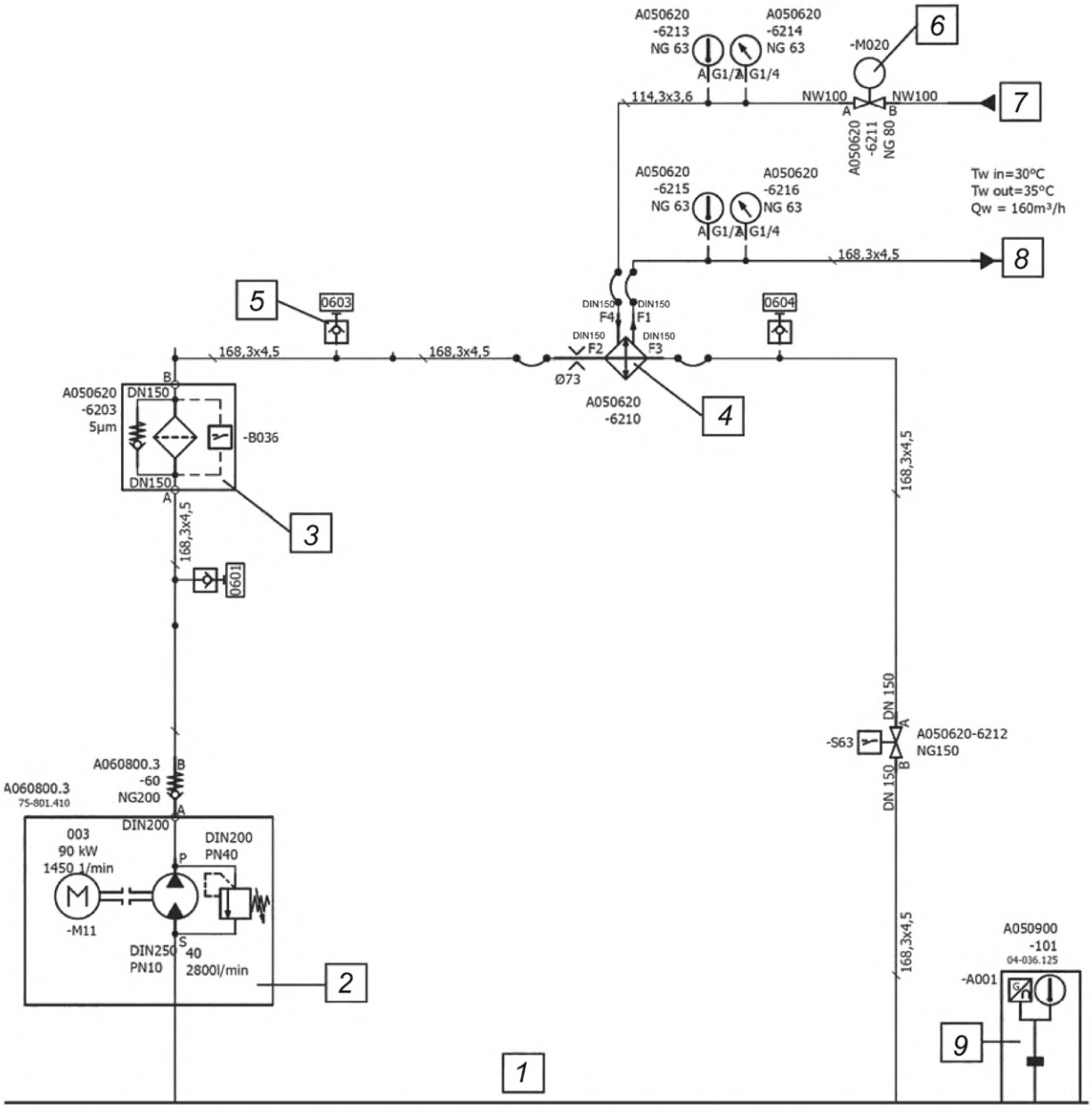
При наличии жидкостного теплообменника и надежных (например, калориметрических) датчиков для измерения потока охлаждающей жидкости мощность охлаждения можно измерить путем измерения потока охлаждающей жидкости и температуры на впускном и выпускном отверстиях с «холодной» стороны. Из-за износа (например, результате кальцинации) возможно снижение потока охлаждающей жидкости, что требует отдельного измерения.

Горячая гидравлическая жидкость откачивается из резервуара (*1*) (см. рисунок В.2) с помощью блока двигателя-насоса (*2*), проходит через фильтрующий блок (*3*) и жидкостный теплообменник (*4*) и, уже охлажденная, возвращается обратно в резервуар (*1*).

Температуру рабочей жидкости в резервуаре измеряют контактным термометром или температурным датчиком (*9*).

Охлаждающую жидкость подают по линии подвода охлаждающей жидкости (*7*), который проходит через регулирующий клапан 2/2 (*6*) и жидкостный теплообменник (*4*) и затем выходит по линии отвода охлаждающей жидкости (*8*).

Блок двигателя-насоса включается, как только достигается режим ожидания, для обеспечения фильтрации гидравлической жидкости. Клапан (*6*) открывается, как только определенная температура гидравлической жидкости [измеряют с помощью (*9*)] превышает заданный порог, и закрывается, как только температура гидравлической жидкости опускается ниже этого значения (явление гистерезиса возникает не только благодаря тепловой инерции).



1 — резервуар с гидравлической жидкостью; *2* — блок двигателя-насоса; *3* — фильтрующий блок; *4* — жидкостный теплообменник; *5* — контрольные точки для манометра; *6* — регулирующий клапан направления потока охлаждающей жидкости 2/2; *7* — линия подвода охлаждающей жидкости; *8* — линия отвода охлаждающей жидкости; *9* — контактный термометр или температурный датчик для измерения температуры гидравлической жидкости

Рисунок В.2 — Пример контура охлаждения с масляно-водяным теплообменником

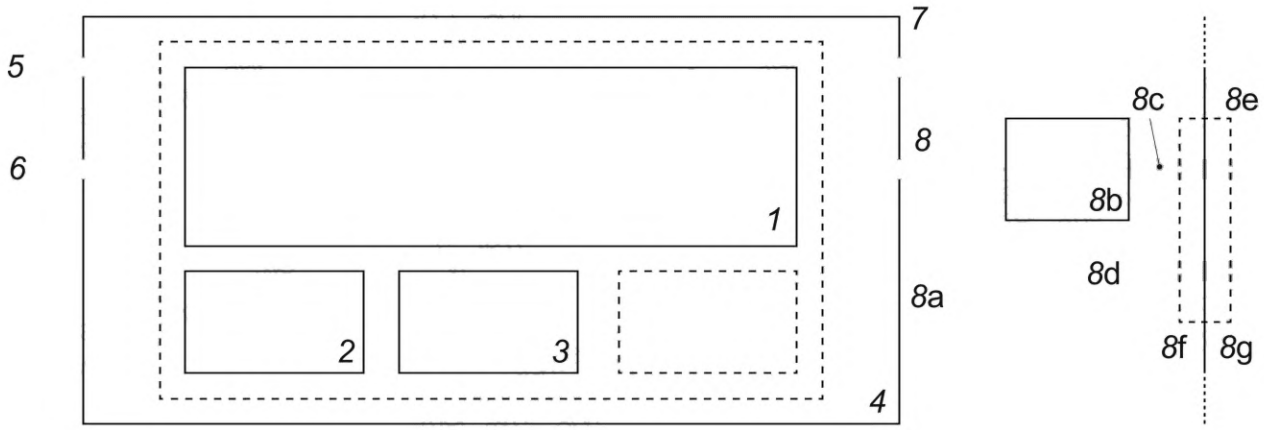
В.3 Измерение потока загрязненного воздуха и воздухообмена

Поток и давление загрязненного воздуха измеряют одновременно в каждом всасывающем патрубке или в основном трубопроводе, подключенном к системе удаления стружки и пыли (CADES).

Поток воздуха на каждом патрубке для отвода загрязненного (например, пылью) воздуха из станка [загрязненный воздух (*8*) на рисунке В.3] соответствует номинальному значению, указанному изготовителем станка, при заданном перепаде давления (статическом давлении).

Как правило, поток воздуха измеряют с погрешностью более 5 % (коэффициент охвата $k = 2$).

Исключение 1: если доля подводимой энергии, связанной с потоком загрязненного воздуха, составляет более 30 % от подводимой к станку энергии, то поток воздуха следует измерять с погрешностью более 3 % (коэффициент охвата $k = 2$).



1 — станок; *2* — периферийное устройство A; *3* — периферийное устройство B; *4* — граница системы; *5* — электрическая энергия; *6* — сжатый воздух; *7* — теплообменник; *8* — загрязненный воздух; *8*a — загрязненный воздух, поступающий от других станков; *8*b — удаление и фильтрация загрязненного воздуха; *8*c — отвод наружу отфильтрованного воздуха; *8*d — замещающий чистый воздух, поступающий снаружи; *8*e — дополнительный теплообменник; *8*f — внутри помещения (например, в цехе); *8*g — снаружи

Рисунок B.3 — Централизованная система управления загрязненным воздухом

Исключение 2: если доля подводимой энергии, связанной с потоком загрязненного воздуха, составляет менее 10 % от общей подводимой энергии за период оценки экспериментального режима смены, то поток воздуха следует измерять с погрешностью более 15 % (коэффициент охвата $k = 2$).

Измерение по методу «скорость-площадь» в воздуховодах круглого сечения с помощью трубок Пито (приемников полного давления) приведено в ИСО 7194.

$$Q = S \cdot V_a, \tag{B.2}$$

где Q — поток воздуха, м^3(ANR)/ч;

S — площадь сечения воздуховода, м^2;

V_a — средняя скорость прохождения воздуха через сечение воздуховода, м/ч.

Фактическая скорость в определенной точке внутри воздуховода связана с динамическим давлением (скоростным напором) по формуле Бернулли. В целом, она не является постоянной по всей площади сечения воздуховода и меняется от точки к точке, где возникают завихрения, асимметрия и турбулентность потока. Чтобы свести к минимуму эти явления, измерительную плоскость следует поместить в прямой воздуховод общей длиной не менее 11 гидравлических диаметров воздуховода (для воздуховодов круглого сечения) на расстоянии, равном восьми гидравлическим диаметрам после (см. рисунок B.4, *B*) и трех гидравлических диаметров (см. рисунок B.4, *A*) до любого элемента, вызывающего возмущение потока.

На практике допустимо уменьшить значения B и A до минимальных значений, соответственно до пяти и двух гидравлических диаметров, в результате чего общая длина прямолинейного участка воздуховода должна быть равна семи гидравлическим диаметрам.

Гидравлический диаметр рассчитывают по формуле

$$D_h = 4 \cdot (S/p), \tag{B.3}$$

где D_h — гидравлический диаметр, м;

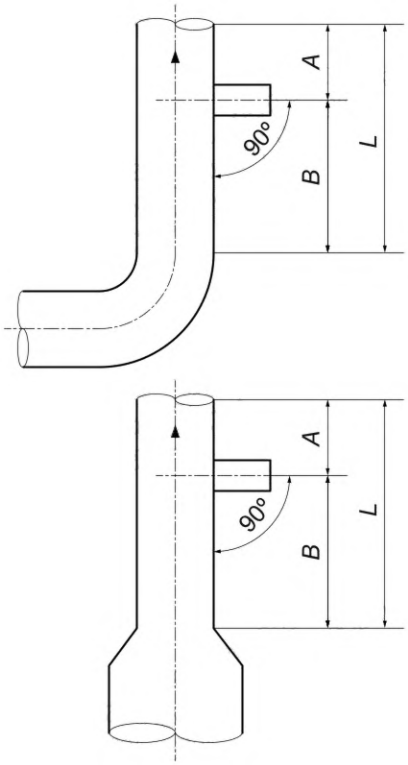
S — площадь сечения воздуховода, м^2;

p — периметр воздуховода, м.

Примечание — Гидравлический диаметр соответствует геометрическому диаметру воздуховодов круглого сечения.

По возможности следует установить устройство для улучшения условий потока (выпрямитель), для снижения завихрений и/или асимметрии потока.

Для воздуховодов, имеющих гидравлический диаметр более 0,1 м, среднюю скорость следует рассчитывать как среднее значение из ряда значений скоростного напора, полученных в точках измерения, представляющих равные площади. Рекомендуется использовать формальную схему (в поперечной плоскости) расположения точек измерения по площади сечения воздуховода.



L — прямолинейный участок воздуховода; *A* — минимальное расстояние между измерительным прибором и торцом прямолинейного участка воздуховода, *A* = (3/11)*L*; *B* — минимальное расстояние между элементом, вызывающим возмущение потока воздуха, и измерительным прибором, *B* = (8/11)*L*

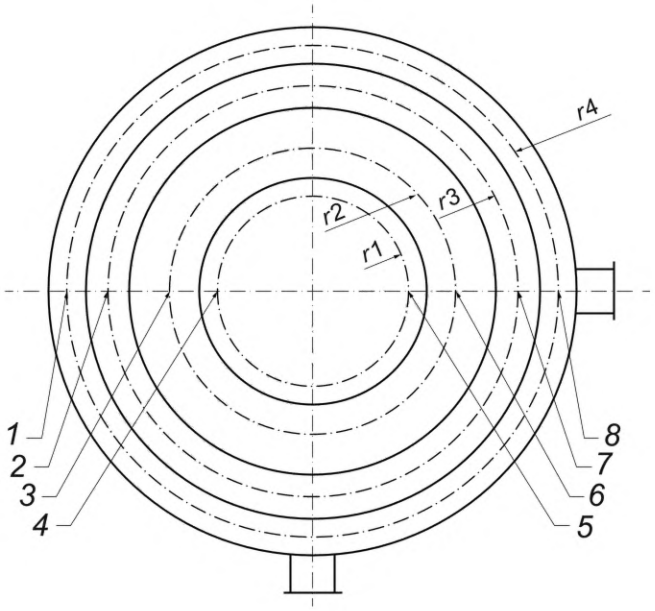
Рисунок В.4 — Корректное расположение измерительной плоскости для минимизации вихревых, асимметричных и турбулентных эффектов

На рисунках В.5 и В.6 приведены примеры рекомендуемых мест расположения трубки Пито для воздуховодов с круглым и прямоугольным сечением соответственно. Измерения скорости следует проводить по одной линии для воздуховодов диаметром поперечного сечения не более 1 м (воздуховоды круглого сечения) и минимальной стороной 0,5 м (воздуховоды прямоугольного сечения).

Примечание — Скорость воздушного потока неравномерна по площади поперечного сечения воздуховода из-за трения, которое замедляет движение воздуха вблизи стенок, поэтому скорость выше в центре воздуховода.

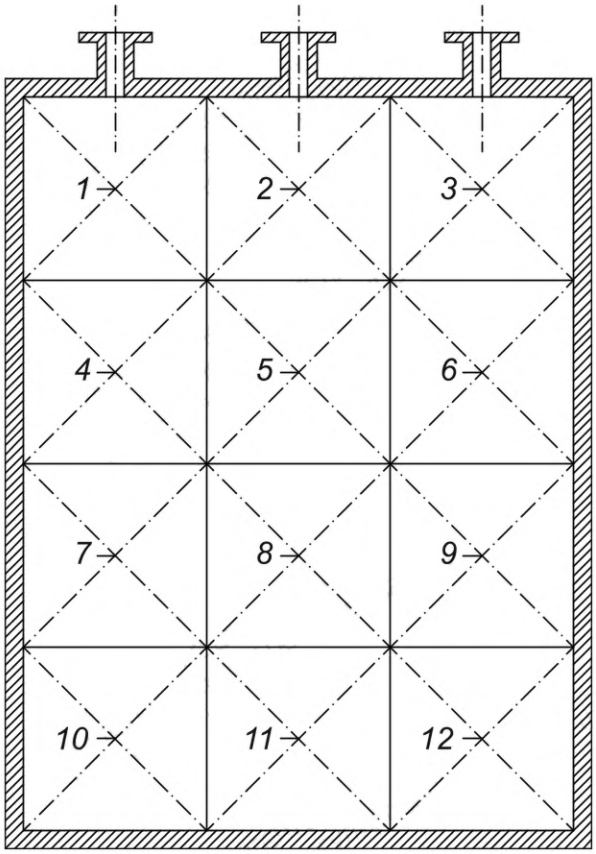
В воздуховодах диаметром менее 0,1 м или в тех, в которых проведение замеров в поперечной плоскости другим способом невозможно, точности ±5 % можно достичь, установив трубку Пито в центре. Приблизительное среднее значение получают путем умножения значения скорости в центре на 0,9.

Лопасти для измерения потока (см. рисунок В.7) представляют собой простой и экономичный метод измерения постоянного потока воздуха в воздуховодах прямоугольного и круглого сечений. При правильном расположении в воздушном потоке (см. рисунок В.8) создается средний перепад давления, квадратный корень из которого пропорционален потоку воздуха. Следует с предельной осмотрительностью подходить к выбору прибора для измерения перепада давления, поскольку именно он в основном определяет погрешность измерения потока воздуха.



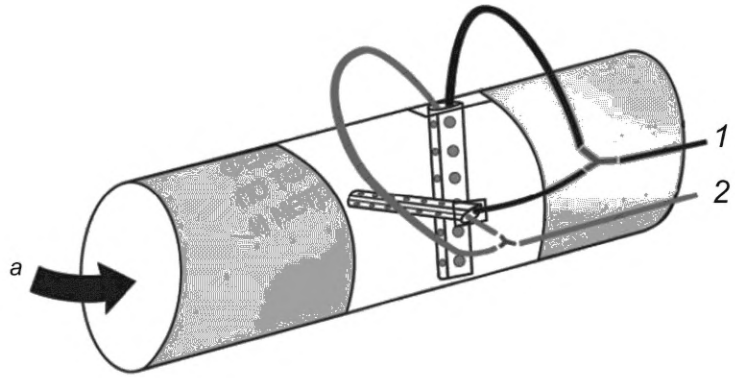
r_i — радиус кольца i (от 1 до 4); *1—8* — точки измерения

Рисунок В.5 — Примеры круглого сечения воздуховода, разделенного на четыре равные концентрические области



1—12 — точки измерения

Рисунок В.6 — Пример прямоугольного сечения воздуховода, разделенного на 12 равных прямоугольных участков



1 — среднее статическое давление; *2* — среднее динамическое давление; *a* — поток воздуха

Рисунок В.7 — Пример применения лопастей для измерения потока

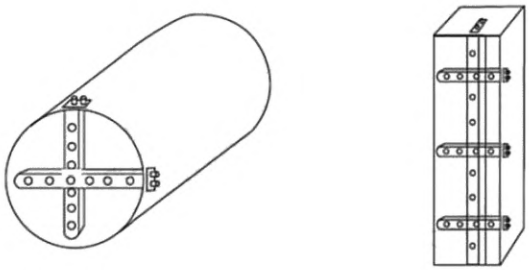


Рисунок В.8 — Пример установки лопастей для измерения потока в воздуховодах круглого и квадратного сечений

Поток воздуха рассчитывают по формуле

$$Q = K_L \cdot S \cdot 3600 \cdot \frac{\rho_t}{\rho_n} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho_t}}, \quad (B.4)$$

где K_L — коэффициент лопасти, типичный для выбранной измерительной лопасти;

p_d — среднее динамическое давление (скоростное давление), рассчитанное как разница между средним общим давлением p_t и средним статическим давлением p_s, Па;

Q — поток воздуха, м^3(ANR)/ч;

S — площадь сечения воздуховода, м^2;

ρ_t — плотность воздуха в условиях испытания, кг/м^3;

ρ_n — плотность воздуха в нормальных условиях, кг/м^3.

Примечание — ρ_t/ρ_n — коэффициент, позволяющий преобразовать объемный поток из условий испытания в нормальные условия.

Теплообмен учитывают в зимнее время, когда атмосферный воздух, замещающий загрязненный воздух, отводимый от станка, поступает в производственное помещение (поток *8*d на рисунке В.3, т. е. не напрямую на станок), и его эквивалент электрической энергии превышает 10 % от общей подводимой энергии.

При постоянном давлении (при условии незначительных колебаний давления, создаваемых системой вентиляции) энергия, необходимая для подогрева поступающего атмосферного воздуха до температуры производственного помещения, рассчитывают как соответствующее изменение энтальпии сухого воздуха и водяного пара при заданной абсолютной влажности воздуха. Изменение энтальпии может быть оценено с помощью соответствующей психрометрической диаграммы (ASHRAE: психрометрическая диаграмма N.1) или с использованием средних значений, например:

$$\Delta h = (C_{pa} + x \cdot C_{pw}) \cdot \Delta T, \quad (B.5)$$

где C_{pa} — удельная теплоемкость сухого воздуха, кВт·ч/кг·°С (для температуры воздуха от минус 100 °С до плюс 100 °С принимают равной 2,79 · 10^{-4} кВт·ч/кг·°С);

C_{pw} — удельная теплоемкость водяного пара при постоянном давлении, кВт·ч/кг·°С (принимают равной $5{,}22 \cdot 10^{-4}$ кВт·ч/кг·°С) [19];

x — массовая доля водяного пара, также называемая «коэффициент влажности», имеющая бесконечно малое значение;

Δh — изменение энтальпии, кВт·ч/кг;

ΔT — изменение температуры от значения атмосферного воздуха до значения воздуха в производственном помещении, °С.

Для оценки массовой доли водяного пара x предлагают использовать следующую процедуру. Давление водяного пара при заданной температуре и относительной влажности может быть рассчитано по следующей приближенной формуле:

$$p_v = \left(611{,}2 \cdot 10^{\frac{7{,}5 \cdot T}{237{,}7+T}} \right) \cdot \frac{\varphi}{100}, \tag{B.6}$$

где p_v — парциальное давление водяного пара, Па;

T — температура воздуха, °С;

φ — относительная влажность, %.

Массовая доля водяного пара равна:

$$x = \frac{m_v}{m_{da}}; \tag{B.7}$$

$$x = \frac{M_v}{M_{da}} \cdot \frac{p_v}{p_{da}}; \tag{B.8}$$

$$x = \frac{M_v}{M_{da}} \cdot \frac{p_v}{p_t - p_v}; \tag{B.9}$$

$$x = 0{,}622 \cdot \frac{p_v}{p_t - p_v}, \tag{B.10}$$

где m_{da} — масса сухого воздуха, кг;

m_v — масса водяного пара, кг;

M_{da} — молярная масса сухого воздуха, г/моль;

M_v — молярная масса водяного пара, г/моль;

p_v — парциальное давление водяного пара, Па;

p_{da} — парциальное давление сухого воздуха, Па;

p_t — общее давление влажного воздуха, Па;

x — массовая доля водяного пара («коэффициент влажности»), имеющая бесконечно малое значение;

при этом

$$p_t = p_v + p_{da}, \tag{B.11}$$

где p_t — общее давление влажного воздуха, Па;

p_v — парциальное давление водяного пара, Па;

p_{da} — парциальное давление сухого воздуха, Па.

Предполагая, что плотность загрязненного воздуха составляет 1,25 кг/м^3, полный эквивалент электрической энергии, необходимый для нагрева потока воздуха Q от температуры T до температуры $T + \Delta T$, рассчитывают следующим образом:

$$E_{eq} = \frac{Q \cdot 1{,}25 \cdot \left(2{,}79 \cdot 10^{-4} + x \cdot 5{,}22 \cdot 10^{-4} \right) \cdot \Delta T}{\eta_{hs}}, \tag{B.12}$$

где E_{eq} — полный эквивалент электрической энергии, кВт·ч;

Q — поток атмосферного воздуха при атмосферном давлении, м^3/ч;

x — массовая доля водяного пара («коэффициент влажности»), имеющая бесконечно малое значение;

ΔT — повышение температуры от атмосферной до внутренней в помещении, °С;

η_{hs} — коэффициент энергоэффективности системы отопления.

Также учитывают (при наличии) рекуперацию тепла из выходящего потока загрязненного воздуха (т. е. устройство *8e* на рисунке В.3), соответственно уменьшая общую подводимую энергию.

Приложение С
(справочное)

Пример измерения

С.1 Описание станка

Вид обработки: фрезерование

Перечень станков и периферийных устройств, входящих в границы системы:

- обрабатывающий блок со встроенной системой подачи смазки, общая номинальная мощность — 86,5 кВт;
- система повторного охлаждения жидкость/окружающий воздух, номинальная мощность — 6,9 кВт;
- система удаления стружки (входит в комплект поставки станка);
- система удаления конденсата (входит в комплект поставки станка).

Рабочий объем: 1000 · 1000 · 800 мм (*X*, *Y*, *Z*).

С.2 Описание установки измерения

Виды измеряемой энергии, кроме электрической:

- сжатый воздух 600 кПа.

Тип измерительного оборудования и погрешность прибора (коэффициент охвата $k = 2$):

- электрическая мощность до 10 кВт включительно, трехфазный измеритель мощности, погрешность прибора 1,5 % от полной шкалы измерения;
- электрическая мощность свыше 10 кВт, трехфазный измеритель мощности с трансформатором тока, погрешность прибора 2 % от полной шкалы измерения;
- поток сжатого воздуха от 0 до 150 $м^3$(ANR)/ч, погрешность прибора 3 % от полной шкалы измерения.

С.3 Условия окружающей среды

Температура в производственном цехе в период измерений — от 23,5 °С до 26,0 °С (температура не регулируется).

С.4 Режимы работы

«Готов к обработке».

«Обработка».

«Выключено».

С.5 Действия на станке

«Готов к обработке»: режим ожидания.

«Готов к обработке»: цикл прогрева шпинделя.

«Обработка»: эталонный процесс, определенный изготовителем станка.

С.6 Описание результатов измерений

Дата и время: 2012-09-23 13:54/16:27.

«Готов к обработке», режим ожидания, измерение прекращено через 200 с в связи со стабильностью подачи электроэнергии.

Средняя электрическая мощность — 3,2 кВт.

Объемный поток сжатого воздуха — 10,7 $м^3$(ANR)/ч.

«Готов к обработке», цикл прогрева шпинделя, продолжительность 480 с.

Средняя электрическая мощность — 5,2 кВт.

Объемный поток сжатого воздуха — 20,9 $м^3$(ANR)/ч.

«Обработка», эталонный процесс продолжительностью 1250 с, три цикла.

Средняя электрическая мощность — 7,3 кВт.

Объемный поток сжатого воздуха — 17,7 $м^3$(ANR)/ч.

«Выключено», измерение прекращено через 60 с в связи со стабильностью подачи электроэнергии.

Средняя электрическая мощность — 0 кВт.

Объемный поток сжатого воздуха — 0 $м^3$(ANR)/ч.

С.7 Результаты

С.7.1 Определение соответствующих режимов работы

Суммарная оценка соответствия: «Готов к обработке», прогрев шпинделя. Хотя средняя электрическая мощность в этом режиме работы выше, чем в режиме ожидания, данный режим работы не учитывают. Его работы используют только несколько раз в день продолжительностью 360 с, в то время как средняя мощность в режиме работы «Обработка» значительно выше.

Поэтому применяют экспериментальный режим смены с режимами работы «Готов к обработке» и «Обработка». Режим работы «Выключено» является частью периода оценки, но не учитывают, поскольку в этом режиме работы энергия не подводится.

С.7.2 Эквивалент электрической энергии

Эквивалент электрической энергии сжатого воздуха принимают равным 0,13 кВт·ч/ м^3(ANR), что соответствует среднему промышленному потоку в соответствии с данными таблицы А.1.

С.7.3 Параметры для расчетов

«Выключено»:

4 ч, электрическая мощность — 0 кВт, 0 м^3(ANR)/ч.

«Готов к обработке», режим ожидания (время включает прогрев шпинделя):

4 ч, электрическая мощность — 3,2 кВт, 10,7 м^3(ANR)/ч.

«Обработка»:

16 ч, электрическая мощность — 7,3 кВт, 17,7 м^3(ANR)/ч.

С.7.4 Расчет

Энергия, подводимая в течение периода оценки продолжительностью 24 ч, в экспериментальном режиме смены определена следующим образом:

$$E = 3{,}2\ \text{кВт} \cdot 4\ \text{ч} + 10{,}7\ \text{м}^3\text{(ANR)/ч} \cdot 0{,}13\ \text{кВт} \cdot \text{ч/м}^3\text{(ANR)} \cdot 4\ \text{ч} + 7{,}3\ \text{кВт} \cdot 16\ \text{ч} + 17{,}7\ \text{м}^3\text{(ANR)/ч} \cdot 0{,}13\ \text{кВт} \cdot \text{ч/м}^3\text{(ANR)} \cdot 16\ \text{ч}, \quad \text{(С.1)}$$

$$E = 172\ \text{кВт·ч}, \quad \text{(С.2)}$$

где E — подводимая электрическая энергия, кВт·ч.

С.7.5 Оценка погрешности

Учитывают только погрешность приборов. Предполагают, что влияние окружающей среды, а также любые колебания мощности незначительны.

Время измерения: 20 ч («Готов к обработке»), погрешность прибора при измерении мощности 0,15 кВт (1,5 % от полной шкалы 10 кВт), для измерения потока воздуха 4,5 м^3(ANR)/ч.

$$U\ (k = 2) = 20\ \text{ч} \cdot (0{,}15\ \text{кВт} + 0{,}13\ \text{кВт·ч/м}^3\text{(ANR)} \cdot 4{,}5\ \text{м}^3\text{(ANR)/ч}), \quad \text{(С.3)}$$

$$U\ (k = 2) = 15\ \text{кВт·ч}, \quad \text{(С.4)}$$

где $U\ (k = 2)$ — погрешность измерения, кВт·ч.

С.7.6 Итоговый результат

$$E = (172 \pm 15)\ \text{кВт·ч}\ (k = 2). \quad \text{(С.5)}$$

С.8 Функциональное описание

Подводимая энергия в режиме работы «Готов к обработке» на 11 % меньше подводимой энергии. Таким образом, функциональное описание вычисляют только для режима работы «Обработка».

Отдельно измеряют следующие компоненты:

- напряжение питания 24 В;
- однофазное напряжение питания 230 В;
- ЧПУ с приводом шпинделя и оси;
- устройство для смены инструмента;
- устройство для сбора стружки;
- система удаления конденсата;
- гидравлический насос;
- насос для подачи смазки снаружи;
- насос для подачи смазки внутри;
- насос для циркуляции смазочного материала;
- жидкостно-воздушная система охлаждения;
- насос для смыва стружки;
- система ленточной фильтрации смазочного материала;
- система охлаждения электрического шкафа.

Компоненты распределены по функциям в соответствии с данными таблицы С.1. Функция «Обработка деталей» пропущена, поскольку эту операцию выполняют вручную. Прочие компоненты, требующие незначительного количества энергии, не назначают ни для одной функции станка.

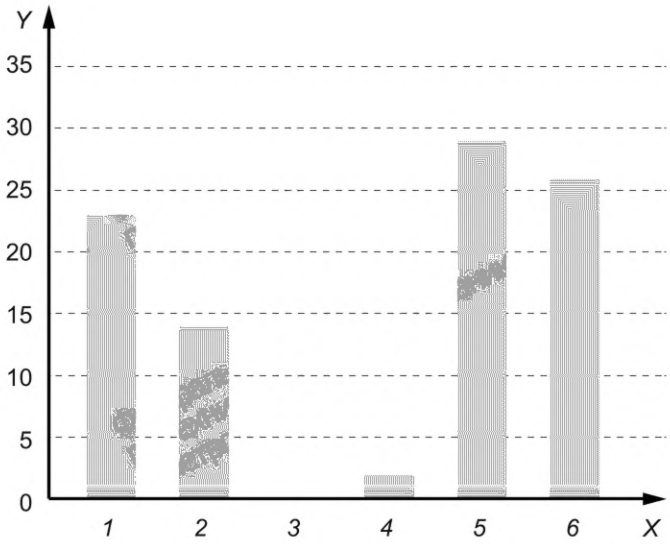
Таблица С.1 — Функциональное отображение для режима работы «Обработка»

	Средняя мощность, кВт	Работа станка	Процесс кондиционирования	Работа с инструментом	Удаление отходов	Охлаждение станка	Итого
Напряжение питания 24 В	0,00*	100 %					100 %
Однофазное напряжение питания 230 В	0,07*	100 %					100 %

Окончание таблицы С.1

	Средняя мощность, кВт	Работа станка	Процесс кондиционирования	Работа с инструментом	Удаление отходов	Охлаждение станка	Итого
ЧПУ с приводом шпинделей и осей	2,16	100 %					100 %
Устройство для смены инструмента	0,02*			100 %			100 %
Устройство для сбора стружки	0,04*				100 %		100 %
Система удаления конденсата	0,75		10 %		80 %	10 %	100 %
Гидравлический насос	0,18*			100 %			100 %
Насос для подачи смазки снаружи	0,23*		80 %			20 %	100 %
Насос для подачи смазки внутри	0,49*		70 %		30 %		100 %
Насос для циркуляции смазочных материалов	0,20*		90 %			10 %	100 %
Жидкостно-воздушная система охлаждения	2,61		20 %			80 %	100 %
Насос для смыва стружки	0,17*				80 %	20 %	100 %
Система ленточной фильтрации смазочных материалов	0,00*				100 %		100 %
Система охлаждения электрического шкафа	0,19*					100 %	100 %
Прочие компоненты	0,17	—	—	—	—	—	
Общая средняя электрическая мощность	7,29						
Сжатый воздух	2,28				100 %		100 %
Общая средняя мощность	9,58	2,23 кВт	1,30 кВт	0,20 кВт	2,77 кВт	2,45 кВт	
	100 %	23 %	14 %	2 %	29 %	26 %	
Примечание — Компоненты со средней мощностью, отмеченные знаком «*», не подлежат обязательному индивидуальному измерению в соответствии с 7.1.							

На рисунке С.1 показана доля подводимой энергии к различным функциям станка в процессе обработки.



1 — работа станка; *2* — процесс кондиционирования; *3* — обработка деталей; *4* — работа с инструментом; *5* — удаление отходов; *6* — охлаждение станка; *X* — функция станка; *Y* — доля подводимой энергии, %

Рисунок С.1 — Доля подводимой энергии к различным функциям станка для примера измерения во время обработки

Приложение D
(справочное)

Уравнения для расчета подводимой энергии и энергоэффективности

Коэффициент энергоэффективности станка при выполнении действия на станке рассчитывают следующим образом:

$$\eta_{MTa} = \frac{W_{MTa}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (D.1)$$

где W_{MTa} — необходимая энергия, подаваемая при выполнении действия на станке (см. серию стандартов ИСО 14955);

$W_{SysBoundMTa}$ — подводимая энергия на границе системы при выполнении действия на станке;

η_{MTa} — коэффициент энергоэффективности при выполнении действия на станке.

Подводимую энергию на границе системы в течение полного цикла рассчитывают по формулам:

$$W_{SysBoundCycle} = \sum_{MTa_1}^{MTa_n} W_{SysBoundMTa}; \quad (D.2)$$

$$W_{SysBoundCalc} = \sum_{MTa_1}^{MTa_n} W_{MTa}, \quad (D.3)$$

где W_{MTa} — необходимая подводимая энергия при выполнении действия на станке (см. серию стандартов ИСО 14955);

$W_{SysBoundCycle}$ — подводимая энергия на границе системы при выполнении цикла работы на станке;

$W_{SysBoundMTa}$ — подводимая энергия на границе системы при выполнении действия на станке;

$W_{SysBoundCalc}$ — необходимая подводимая энергия при выполнении цикла работы на станке (см. серию стандартов ИСО 14955).

Коэффициент энергоэффективности станка в течение этого цикла рассчитывают по формуле

$$\eta_{MTCycle} = \frac{W_{SysBoundCalc}}{W_{SysBoundCycle}}, \quad (D.4)$$

где $\eta_{MTCycle}$ — коэффициент энергоэффективности при выполнении цикла работы на станке;

$W_{SysBoundCalc}$ — необходимая подводимая энергия при выполнении цикла работы на станке (см. серию стандартов ИСО 14955);

$W_{SysBoundCycle}$ — подводимая энергия на границе системы при выполнении цикла работы на станке.

Для определения доли компонентов станка, влияющих на коэффициент энергоэффективности, можно учитывать измеренные потери мощности, рассчитываемые по формуле

$$W_{MTaCompLoss} = \sum_{t_{MTaStart}}^{t_{MTaEnd}} P_{CompLossMTa} \cdot \Delta t, \quad (D.5)$$

где $P_{CompLossMTa}$ — потеря мощности компонента станка при выполнении действия на станке (например, $P_{SlPwrLossDesc.}$, $P_{CuPwrLossLift.}$);

$t_{MTaStart}$ — время начала действия на станке;

t_{MTaEnd} — время окончания действия на станке;

$W_{MTaCompLoss}$ — электрическая энергия, преобразованная в тепло;

Δt — частота дискретизации измерительного оборудования.

Коэффициент энергоэффективности компонента станка рассчитывают по формуле

$$\eta_{MTaComp} = 1 - \frac{W_{MTaCompLoss}}{W_{MTaComp}}, \quad (D.6)$$

где $W_{MTaCompLoss}$ — электрическая энергия, преобразованная в тепло;

$W_{MTaComp}$ — энергия, подводимая к компоненту станка при выполнении действия на станке;

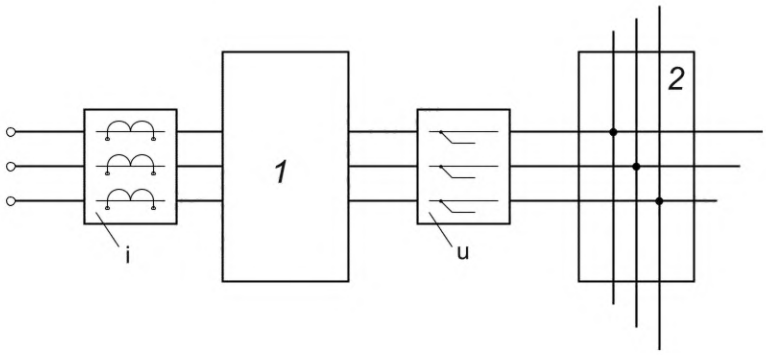
$\eta_{MTaComp}$ — коэффициент энергоэффективности компонента станка.

Примечание — Уравнения для расчета необходимой подводимой энергии в режиме работы «Обработка» с использованием номинальных значений различных компонентов станка приведены в некоторых приложениях по конкретным станкам в серии стандартов ИСО 14955.

Приложение Е
(справочное)

Примеры установок для измерения мощности

Е.1 Измерение электрической мощности в одной точке питания



1 — главный выключатель; *2* — распределение энергии; i — точка измерения силы тока; u — точка измерения напряжения

Рисунок Е.1 — Установка для измерения электрической мощности в одной точке питания

Измерение электрической мощности в одной точке питания выполняют на границе системы, как показано на рисунке Е.1. Измерения компонентов станка проводят соответствующим образом.

Если в трехфазной системе электропитания измерения проводят менее, чем на трех фазах, асимметрия должна быть установлена во время всех действий на станке и зафиксирована в протоколе испытания. Коэффициент мощности определяют на основе измеренного фазового сдвига.

Е.2 Измерение мощности электродвигателей

Е.2.1 Общие положения

Назначение электродвигателей станков заключается в преобразовании электрической энергии в усилие или крутящий момент и частоту вращения, которые передаются на приводы, например для обработки детали или при ее загрузке/разгрузке. В настоящий момент это преобразование в основном осуществляется механическими средствами прямого воздействия (например, эксцентриковым приводом, ремнем, гайкой и шпинделем), струйными средствами (например, сжатым воздухом, гидравлическими жидкостями) или их комбинацией. Элементами управления электродвигателями являются стартеры или инверторы.

Для измерения электрической мощности с использованием фактических значений, получаемых от инверторов, должна быть указана погрешность измерения этих значений, и фактические значения должны:

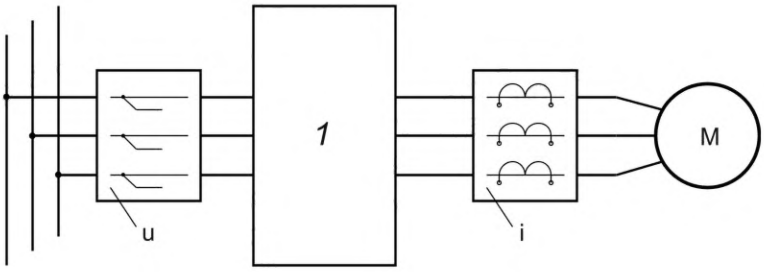
- быть актуализированы с эффективной частотой дискретизации не менее 5 С/с;
- включать потери мощности на инверторе, фильтрах и линейном реакторе. В противном случае, коэффициенты энергоэффективности инвертора, фильтров и линейного реактора, зависящие от нагрузки, должны быть указаны изготовителем инвертора и
- быть зарегистрированы одновременно с другими измеряемыми значениями или быть синхронизированы с ними.

Если одно или несколько из вышеперечисленных требований не выполнены, необходимо провести оценку электрической мощности с использованием вспомогательного измерительного оборудования, отвечающего этим требованиям (например, измерительных приборов с токовыми клещами), и измерение на линейном входе инвертора.

Примечание — Оценка электрической мощности по значениям, измеряемым на выходе цифровых инверторов, требует специального оборудования из-за высокочастотной широтно-импульсной модуляции.

Е.2.2 Стартеры двигателей

Стартеры двигателей в основном выполняют функцию прямого пуска, пуска с электронным ограничителем тока (например, стартеры плавного пуска) или со снижением напряжения (например, стартеры типа «звезда-треугольник»). Измерительное оборудование должно быть установлено на одной линии с двигателем, на входной или выходной стороне стартера (см. рисунок Е.2).

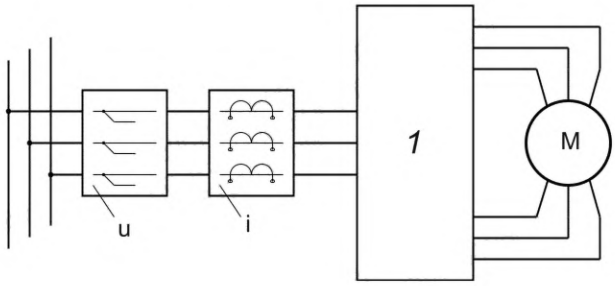


1 — стартер; M — двигатель; i — точка измерения силы тока; u — точка измерения напряжения

Рисунок Е.2 — Установка для измерения мощности на стартере, кроме стартера типа «звезда-треугольник»

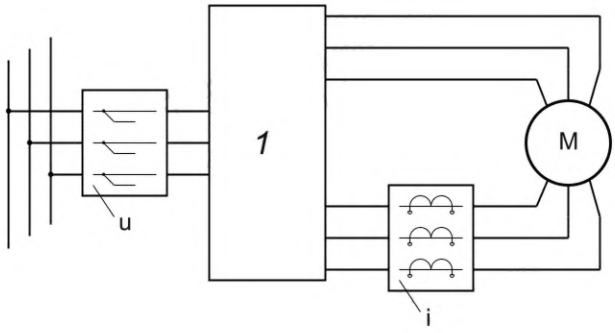
Если предусмотрены стартеры типа «звезда-треугольник», измерительное оборудование должно быть установлено на входе стартера (см. рисунок Е.3). Если это практически невозможно (например, при использовании больших двигателей требуется меньшее расстояние между проводами), можно измерить ток в обмотках двигателя (см. рисунок Е.4).

Коэффициент мощности определяют на основе измеренного фазового сдвига.



1 — стартер; M — двигатель; i — точка измерения силы тока; u — точка измерения напряжения

Рисунок Е.3 — Установка для измерения мощности на стартере типа «звезда-треугольник» с измерением тока на входе стартера

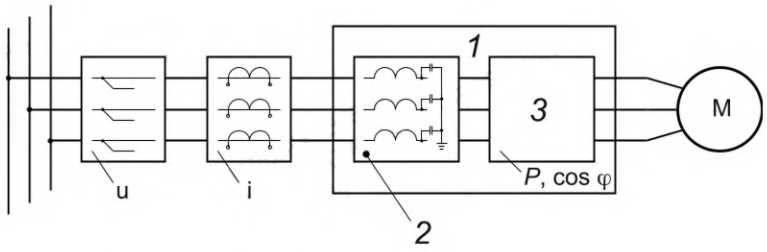


1 — стартер; M — двигатель; i — точка измерения силы тока; u — точка измерения напряжения

Рисунок Е.4 — Установка для измерения мощности на стартере типа «звезда-треугольник» с измерением тока в обмотках двигателя

Е.2.3 Инвертор с одним двигателем

Фактические значения мощности и коэффициента мощности, измеренные инвертором, могут быть использованы, если инвертор соответствует требованиям, приведенным в Е.2.1. В противном случае требуется оценка мощности путем измерения входного тока и входного напряжения (см. рисунок Е.5).



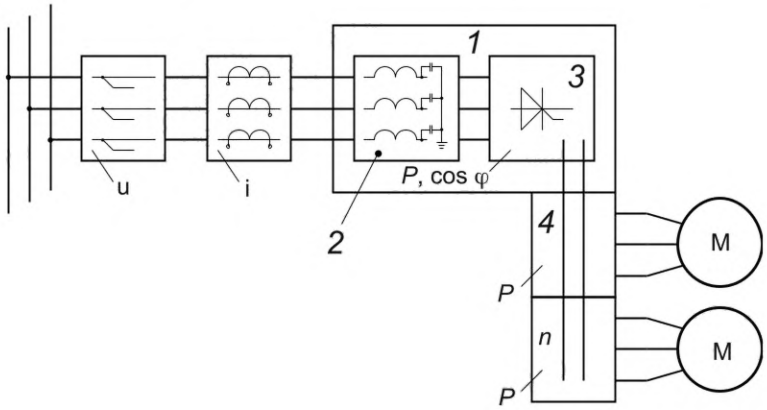
1 — блок инверторов; *2* — линейный фильтр и линейный реактор; *3* — инвертор (с функцией измерения мощности); M — двигатель; i — точка измерения силы тока; u — точка измерения напряжения; *P,* cos φ — значения, измеренные инвертором

Рисунок Е.5 — Установка для измерения мощности на инверторе с одним двигателем

Е.2.4 Инвертор с несколькими двигателями

Можно использовать фактические значения мощности и коэффициента энергоэффективности, измеренные инвертором, если инвертор соответствует требованиям, приведенным в Е.2.1.

Если инвертор не соответствует требованиям Е.2.1, необходимо оценить мощность путем измерения входного тока и входного напряжения (см. рисунок Е.6). Оценка мощности, потребляемой отдельными двигателями, может быть выполнена с использованием значений инвертора и их корректировки по мощности, измеренной на входе инвертора. Этот метод предполагает, что разницей в погрешности измерений модулей двигателя можно пренебречь.



1 — линейная система; *2* — линейный фильтр и линейный реактор; *3* — инвертор (с функцией измерения мощности); *4-n* — выходной модуль (с функцией измерения мощности); M — двигатель; i — точка измерения силы тока; u — точка измерения напряжения; *P,* cos φ — значения, измеренные инвертором

Рисунок Е.6 — Установка для измерения мощности на инверторе с несколькими двигателями

Мощность, подаваемую на двигатель, рассчитывают по формулам:

$$P_{\text{Inverter}} = P_{\text{M1}} + P_{\text{M2}} + \ldots + P_{\text{Mn}}, \tag{Е.1}$$

$$P_{\text{MnCorr.}} = \frac{P_{\text{Mn}} \cdot P_{\text{Line}}}{P_{\text{Inverter}}}, \tag{Е.2}$$

где P_{Inverter} — мощность, измеряемая линейным модулем инвертора, или сумма значений мощности, измеренная модулями двигателей;

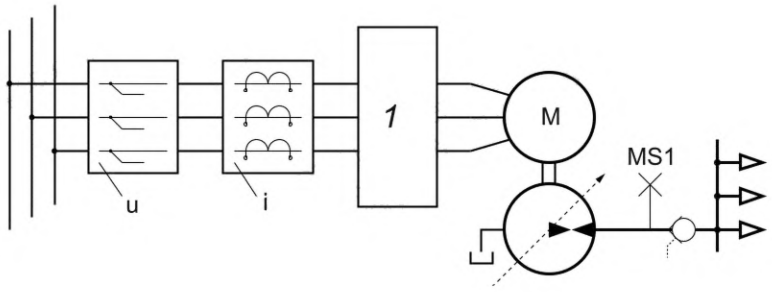
P_{M1}, P_{Mn} — мощность, подаваемая на двигатель, измеренная модулем двигателя;

$P_{\text{MnCorr.}}$ — скорректированная мощность, подаваемая на двигатель;

P_{Line} — мощность, измеренная на входе в инвертор.

Е.3 Измерение мощности в гидравлических насосах

Для оценки энергоэффективности отдельного гидравлического насоса необходимо измерить активную мощность, а также поток и давление MS1 на выходе насоса(ов) (см. рисунок Е.7). Вместо измерения потока жидкости можно выполнить расчет, используя характеристики насоса, указанные производителем насоса. Если инвертор соответствует требованиям Е.2.1, можно использовать активную мощность, измеренную инвертором.



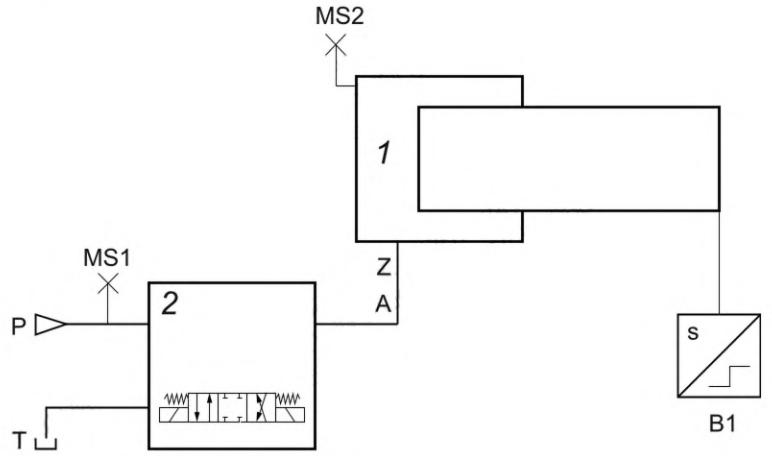
1 — линейная система; M — двигатель; MS1 — точка измерения давления насоса; i — точка измерения силы тока; u — точка измерения напряжения

Рисунок Е.7 — Установка для измерения мощности на гидравлическом насосе без инвертора

Потери мощности представляют собой разницу между активной мощностью и гидравлической мощностью, коэффициент энергоэффективности — гидравлическая мощность, деленная на активную мощность.

Е.4 Измерение мощности на цилиндрах и гидравлических электродвигателях

Е.4.1 Цилиндр с клапанным управлением

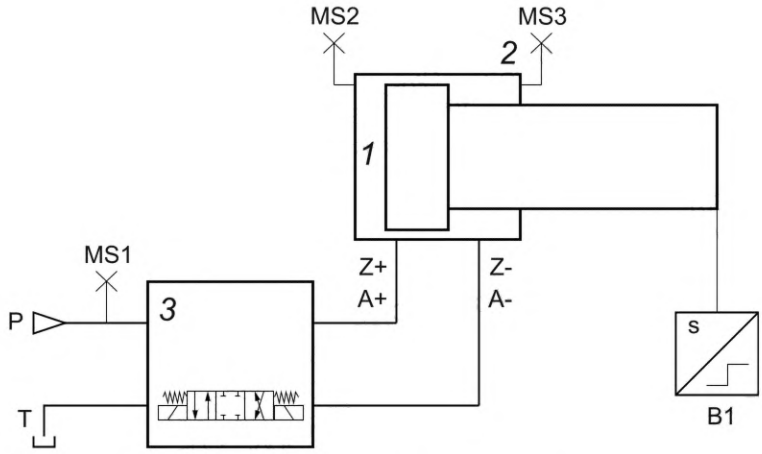


1 — цилиндр; *2* — управляющий(е) клапан(ы); Z — впускное окно цилиндра; A — площадь цилиндра; P — подключение к источнику давления (точка питания); MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения; T — линия возврата жидкости

Рисунок Е.8 — Установка для измерения мощности на цилиндре простого действия

Поток может быть рассчитан путем умножения скорости (измеренной с помощью B1) на площадь цилиндра (A+, A–).

Мощность, подаваемая на цилиндр, представляет собой абсолютное значение давления со стороны головки цилиндра, Z+, измеренное в точке MS2, умноженное на значение потока в точке Z+, минус значение давления на стороне штока цилиндра, Z–, измеренного в точке MS3, умноженное на значение потока в точке Z– (см. рисунок Е.9). Если цилиндр перемещается другим компонентом станка, мощность, подаваемая на цилиндр, генерируется мощностью, подаваемой на другой компонент станка. Разница обоих значений мощности представляет собой потери мощности, связанные с системой, которые включают потери из-за трения.



1 — сторона головки цилиндра; *2* — сторона штока цилиндра; *3* — управляющий(е) клапан(ы); Z+ — входное отверстие со стороны головки цилиндра; Z– — входное отверстие со стороны штока цилиндра; A+ — площадь цилиндра со стороны головки; A– — площадь цилиндра со стороны штока; P — подключение к источнику давления (точка питания); MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения; T — линия возврата жидкости

Рисунок Е.9 — Установка для измерения мощности на цилиндре двойного действия

Расчет общей мощности и потерь мощности:

- выдвижение цилиндра простого действия или цилиндра двойного действия с рекуперативным контуром (см. рисунок Е.8):
  - общую мощность вычисляют умножением потока на входном отверстии цилиндра Z+ на давление в источнике P, измеренное в точке MS1,
  - потерю мощности вычисляют умножением потока на входном отверстии цилиндра Z+ на разность давлений в точках MS1, MS2;
- смещение цилиндра простого действия или цилиндра двойного действия с рекуперативным контуром:
  - общую мощность вычисляют умножением потока на выходном отверстии цилиндра Z+ на давление в точке MS2,
  - потери мощности равны общей мощности;
- выдвижение цилиндра двойного действия (без рекуперативного контура) (см. рисунок Е.9):
  - общую мощность вычисляют умножением потока на входном отверстии цилиндра со стороны головки (Z+) на давление в источнике P, измеренное в точке MS1,
  - потерю мощности на стороне головки вычисляют умножением потока на входном отверстии цилиндра Z+ (со стороны головки) на разницу давлений в точках MS1, MS2. Потерю мощности со стороны штока вычисляют умножением потока на выходном отверстии цилиндра Z– (со стороны штока) на давление в точке MS3;
- сжатие цилиндра двойного действия (см. рисунок Е.9):
  - общую мощность вычисляют умножением потока на входе в цилиндр со стороны штока (Z–) на давление в источнике P, измеренное в точке MS1;
- потерю мощности на стороне штока вычисляют умножением потока на входном отверстии цилиндра Z– (со стороны штока) на разность давлений в точках MS1 — MS3. Потери мощности на стороне головки вычисляют умножением потока на выходном отверстии цилиндра Z+ (со стороны головки) на давление в точке MS2.

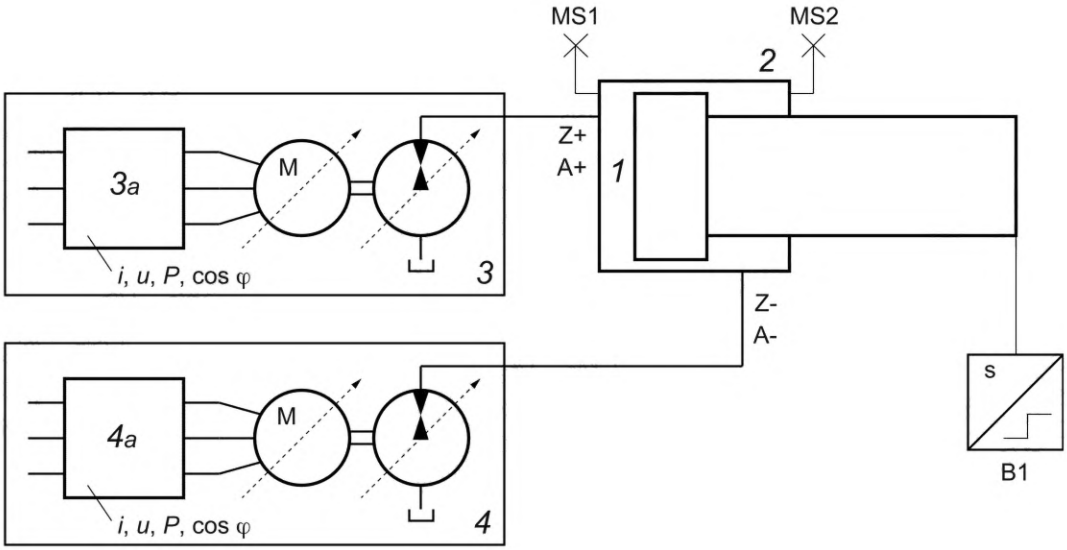
Потери мощности определяют как сумму потерь мощности на стороне головки цилиндра и потерь мощности на стороне штока цилиндра.

Е.4.2 Цилиндр с сервоприводами

Поток может быть рассчитан умножением скорости (измеренной с помощью B1) на площадь цилиндра (A+, A–) (см. рисунок Е.10).

Мощность, подаваемая на цилиндр, представляет собой абсолютное значение давления со стороны головки цилиндра (Z+), измеренное в точке MS1, умноженное на значение потока в точке Z+, минус значение давления на стороне штока цилиндра (Z–), измеренного в точке MS2, умноженное на значение потока в точке Z–. Если цилиндр перемещается другим компонентом станка, мощность, подаваемая на цилиндр, генерируется мощностью, подаваемой на другой компонент станка. Разница в обеих мощностях является потерей мощности вследствие трения.

Примечание — В насосах с сервоприводом частота вращения двигателя и объем насоса известны благодаря наличию системы управления по замкнутому контуру. Теоретический поток жидкости, генерируемый приводом, вычисляют умножением частоты вращения двигателя на объем насоса, и он может быть сопоставлен с потоком, измеряемым с использованием скорости движения жидкости. Отношение между ними и является объемным коэффициентом энергоэффективности насоса. Характерной особенностью насосных систем с сервоприводом является переменный поток, который может быть достигнут за переменной частоты вращения двигателя (например, серводвигателя) и/или переменного потока насоса (например, за счет переменного угла поворота).



1 — сторона головки цилиндра; *2* — сторона штока цилиндра; *3* — привод со стороны головки; *3a* — стартер/инвертор со стороны головки; *4* — привод со стороны штока; *4a* — стартер/инвертор со стороны штока; M — двигатель; Z+ — входное отверстие со стороны головки цилиндра; Z– — входное отверстие со стороны штока цилиндра; A+ — площадь цилиндра со стороны головки; A– — площадь цилиндра со стороны штока; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения; *i, u, P,* cos φ — значения, измеренные инвертором/стартером

Рисунок Е.10 — Установка для измерения мощности на цилиндре двойного действия с управлением сервоприводом

Общая мощность представляет собой сумму значений электрической мощности, подводимой на все стартеры/инверторы, измеренных в их точках питания.

Расчет общей мощности и потерь мощности:

- выдвижение цилиндра простого действия или цилиндра двойного действия с рекуперативным контуром:
  - потерю мощности вычисляют как разницу потока на входном отверстии цилиндра Z+ (со стороны головки), умноженного на давление в точке MS1, и общей мощностью;
- смещение цилиндра простого действия или цилиндра двойного действия с рекуперативным контуром:
  - потерю мощности вычисляют как разницу потока на выходном отверстии цилиндра Z+ (со стороны головки), умноженного на давление в точке MS1, и общей мощностью;
- выдвижение цилиндра двойного действия (без рекуперативного контура):
  - потерю мощности на стороне головки вычисляют как разницу между потоком на входном отверстии цилиндра Z+ (со стороны головки), умноженного на давление в точке MS1, и электрической мощностью, подведенной к блоку со стороны головки. Потерю мощности со стороны штока вычисляют как разницу между потоком на выходном отверстии цилиндра Z– (со стороны штока), умноженного на давление в точке MS2, и электрической мощностью, подведенной к блоку со стороны штока;
- сжатие цилиндра двойного действия:
  - потерю мощности на стороне штока определяют как разницу между потоком на входном отверстии цилиндра Z– (со стороны штока), умноженного на давление в точке MS2, и электрической мощностью, подведенной к блоку со стороны штока. Потери мощности со стороны головки определяют как разницу между потоком на выходном отверстии цилиндра Z+ (со стороны головки), умноженного на давление в точке MS2, и электрической мощностью, подведенной к блоку со стороны головки.

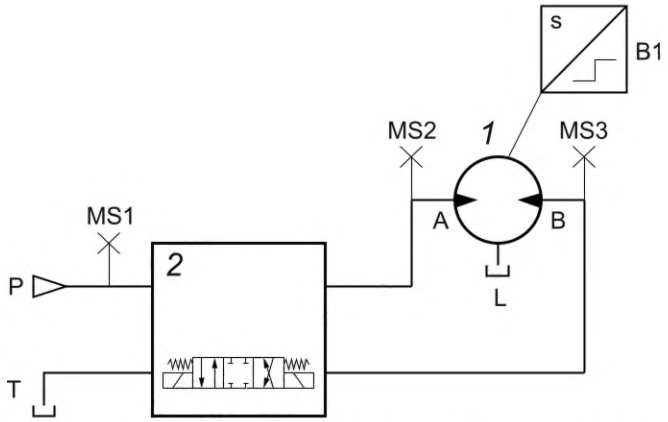
Потерю мощности определяют как сумму потерь мощности на стороне головки цилиндра и потерь мощности на стороне штока цилиндра.

Е.4.3 Гидравлические двигатели

Общая мощность представляет собой поток к основным входным отверстиям (A или B), умноженный на давление в источнике P, измеренное в точке MS1. Потерю мощности определяют как разницу между общей мощностью и результатом умножения потока на разницу давлений в точках MS2—MS3 (см. рисунок Е.11).

Поток жидкости может быть рассчитан умножением частоты вращения двигателя на объем двигателя. В этом случае следует учитывать количественное значение потока жидкости в дренажном трубопроводе, указанное изготовителем двигателя, и зависимость дренажного потока от давления.

Чтобы определить потерю мощности от перепада давления в трубопроводе, контрольные отверстия MS2 и MS3 должны быть установлены на минимальном расстоянии к приводу.



1 — гидравлический двигатель; *2* — регулирующий(е) клапан(ы); L — дренажное отверстие и дренажный трубопровод; A, B — основные отверстия; P — подключение к источнику давления (точка питания); MSx — точки измерения давления; B1 — датчик скорости; T — линия возврата жидкости

Рисунок Е.11 — Установка для измерения мощности на гидравлическом двигателе

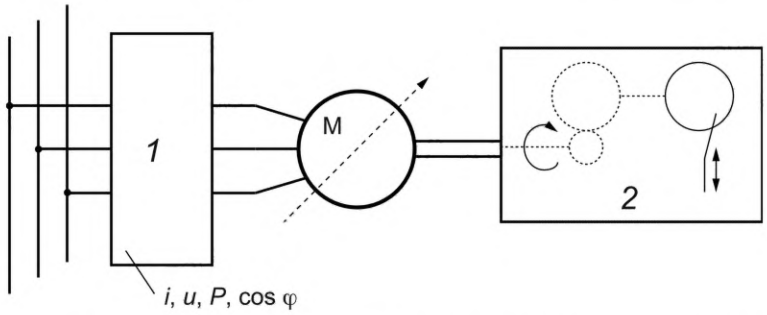
Е.4.4 Мощность трения на уплотнениях и на направляющих

Мощность, необходимая для преодоления трения на уплотнениях и на направляющих, является частью мощности, подводимой к компонентам станка.

Примечание — Достижение изолированной мощности трения не оправдывает усилий по изоляции.

Е.5 Механические передачи

Если двигатель вращения (в отличие от линейного двигателя) обеспечивает линейное перемещение компонентов станка, то для кинематического преобразования вращения в поступательное движение требуются передаточные механизмы (например, эксцентриковые приводы, шарико-винтовые приводы, зубчато-реечные передачи). Передаточные механизмы также используют для преобразования крутящего момента (см. рисунок Е.12).



1 — стартер/инвертор (с функцией измерения мощности); *2* — передаточный механизм; M — двигатель

Рисунок Е.12 — Установка для системы механического привода

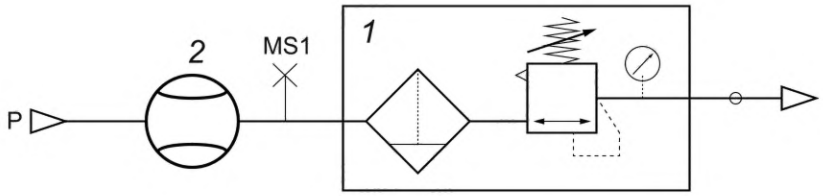
Потребляемую мощность измеряют путем вычисления мощности двигателя (см. Е.2). Выходная мощность представляет собой силу, прилагаемую в производственном процессе, умноженную на скорость. Коэффициент энергоэффективности вычисляют путем деления выходной мощности на потребляемую мощность.

Если выходное усилие не имеет значения для производственного процесса, оборудование для измерения выходного усилия отсутствует, а установленная мощность компонента станка составляет менее 20 % от общей установленной мощности, коэффициент энергоэффективности может быть рассчитан с использованием данных, предоставленных изготовителем установленных устройств.

Е.6 Пневматическая мощность

Для измерения пневматической мощности (см. рисунок Е.13) необходимо измерить давление и массовый поток и перевести их значение в кубический метр в стандартной эталонной атмосфере, $м^3$ (ANR).

Примечание — Процедуры оптимизации системы сжатого воздуха и проведения измерений представлены в ИСО 11011.



1 — блок технического обслуживания; *2* — расходомер; MS1 — точка измерения давления

Рисунок Е.13 — Точки измерения в пневматическом источнике питания

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ISO 1217	—	*
ISO 8778	—	*
ISO 14955-1:2017	IDT	ГОСТ Р ИСО 14955-1—2025 «Станки. Оценка условий окружающей среды для станков. Часть 1. Методология проектирования энергосберегающих станков»

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать официальный текст международного стандарта на языке оригинала.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичный стандарт.

Библиография

[1] ISO 3046-1 Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods — Additional requirements for engines for general use

[2] ISO 5167-1 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements

[3] ISO 7194:2008 Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity-area methods of flow measurement in swirling or asymmetric flow conditions in circular ducts by means of current-meters or Pitot static tubes

[4] ISO 9110-1:1990 Hydraulic fluid power — Measurement techniques — Part 1: General measurement principles

[5] ISO 9110-2:1990 Hydraulic fluid power — Measurement techniques — Part 2: Measurement of average steady-state pressure in a closed conduit

[6] ISO 11011 Compressed air — Energy efficiency — Assessment

[7] ISO 50001:2011 Energy management systems — Requirements with guidance for use

[8] ISO 50004:2014 Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system

[9] IEC 60034-2-1 Rotating electrical machines — Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)

[10] IEC 62053-22 Electricity metering equipment (a.c.) — Particular Requirements — Part 22: Static meters for active energy (classes 0,2 S and 0,5 S)

[11] Duflou, J.R., Kellens, K., Renaldi, Dewulf, W., 2011, Environmental Performance of Sheet Metal Working Processes, Key Engineering Materials, Vol. 473, pp. 21—26

[12] Bayerisches Landesamt fьr Umweltschutz, Effiziente Druckluftsysteme, Augsburg 2004

[13] IEEE 1459-2010, Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non-sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions

[14] Deutsche Energieagentur, Fraunhofer ISI, VDMA. Druckluft effizient — Fakten zur Druckluft. Karlsruhe 2003

[15] VDMA Infoblatt «Wдrmeьckgewinnung bei Druckluftanlagen», Frankfurt 2013

[16] Züst, S., Gontarz, A. and Wegener, K., Energy Equivalent of Compressed Air Consumption in a Machine Tool Environment. Institute of Machine Tools and Manufacturing (IWF), Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland; inspire AG, Zurich 2013

[17] Gontarz A., Hampl D., Weiss L., Wegener K. Resource Consumption Monitoring in Manu-facturing Environments — Proceedings of the 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Procedia CIRP, Vol. 26, 2015, pp. 264—269

[18] VDI 3423, Technical availability of machines and production lines, VDI-Gesellschaft Produktionstechnik, 2002

[19] Porges, F., HVAC Engineer's Handbook, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford 2000, ISBN-10: 0-7506-4606-3

УДК 621.9–504:006.354 ОКС 25.080

Ключевые слова: станки, окружающая среда, энергоэффективность, режимы работы, функции станка, компоненты станка, действия на станке, сценарии испытаний, период оценки, границы системы, погрешность измерений

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 03.12.2025. Подписано в печать 15.01.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,63.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru