ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 14955-4— 2025

СТАНКИ. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТАНКОВ

Часть 4

Принципы измерения энергоэффективности машин для обработки металлов давлением и станков для лазерной обработки

(ISO 14955-4:2019, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

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. № 1593-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 14955-4:2019 «Станки. Оценка условий окружающей среды для станков. Часть 4. Принципы измерения энергоэффективности машин для обработки металлов давлением и станков для лазерной обработки» (ISO 14955-4:2019 «Machine tools — Environmental evaluation of machine tools — Part 4: Principles for measuring metal-forming machine tools and laser processing machine tools with respect to energy efficiency», IDT).

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

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 (www.rst.gov.ru)

© ISO, 2019
© 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 2
3 Термины и определения 2
4 Режимы работы для процедуры измерения 3
4.1 Режим работы «Выключено» 3
4.2 Режим работы «Главный выключатель включен» 3
4.3 Режим работы «Вспомогательные приводы включены» 4
4.4 Режим работы «Главные приводы включены» 4
4.5 Режим работы «Готов к работе в режиме обработки» 4
4.6 Режим работы «Обработка» 4
4.7 Режим работы «Смена инструмента» 4
4.8 Типовой результат измерения мощности 4
5 Оценка энергопотребления различных типов станков 5
5.1 Общие положения 5
5.2 Энергия, подаваемая на прессы 5
5.3 Энергия, подаваемая на листогибочные прессы 11
5.4 Энергия, подаваемая на трубогибочные станки 14
5.5 Энергия, подаваемая на револьверные штамповочные прессы 16
5.6 Энергия, подаваемая на станки для лазерной обработки 19
5.7 Энергия, подаваемая на вспомогательные устройства 24
6 Отчетность 24
Приложение А (справочное) Гидравлические прессы 26
Приложение В (справочное) Механические прессы 36
Приложение С (справочное) Гидравлические листогибочные прессы 44
Приложение D (справочное) Револьверные штамповочные прессы 50
Приложение Е (справочное) Станки для лазерной обработки 55
Приложение F (справочное) Трубогибочный станок 64
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 69
Библиография 70

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 станков и указать порядок их использования.

Станки — это сложные изделия промышленного назначения, предназначенные для производства готовых к использованию заготовок или полуфабрикатов. Их влияние на окружающую среду включает отходы сырья, применение вспомогательных веществ, таких как смазочные материалы и другие материальные потоки, а также преобразование электрической энергии в тепловую, рассеивание тепла в атмосфере или теплообмен между жидкостями и, в конечном итоге, применение 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 станков на этапе их эксплуатации.

Производительность станка как ключевая информация для инвестиций является многомерной с точки зрения его экономической ценности, технических характеристик и эксплуатационных требований, которые зависят от его конкретного применения. Энергия, потребляемая одним и тем же станком, может варьироваться в зависимости от обрабатываемой детали и условий эксплуатации станка. Таким образом, экологическая оценка станка не может быть выполнена без учета этих аспектов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СТАНКИ. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТАНКОВ

Часть 4

Принципы измерения энергоэффективности машин для обработки металлов давлением и станков для лазерной обработки

Machine tools. Environmental evaluation of machine tools. Part 4. Principles for measuring metal-forming machine tools and laser processing machine tools with respect to energy efficiency

Дата введения — 2026—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет технические требования и меры для проведения испытаний с целью оценки энергопотребления, которые должны быть приняты лицами, занимающимися проектированием, производством и поставкой металлообрабатывающих станков и станков для лазерной обработки, для получения воспроизводимых данных относительно энергии, потребляемой в указанных условиях. Кроме того, в настоящем стандарте приведены методы количественной оценки энергии, потребляемой компонентами станка, с целью определения их доли в обобщенных функциях станка, как описано ИСО 14955-1.

Так же как в ИСО 14955-1 и ИСО 14955-2, в настоящий стандарт включены все существенные требования к энергопотреблению, предъявляемые к гидравлическим и механическим сервопрессам, револьверным штамповочным и листогибочным прессам, трубогибочным станкам и станкам для лазерной обработки, при их использовании по назначению и в условиях, предусмотренных производителем. Примеры проведения оценки энергопотребления металлообрабатывающих станков приведены в приложениях A—F.

Настоящий стандарт применим к станкам с механической передачей усилия или с передачей энергии лазерным лучом для резки, формования или обработки металла или других материалов с помощью штампов, прикрепленных к направляющим, пуансонам или траверсам или управляемых ими, а также к лазерам, размеры которых варьируются от небольших высокоскоростных станков, производящих небольшие заготовки, до больших относительно медленно работающих станков и крупногабаритных заготовок. В настоящем стандарте рассмотрены станки, основное назначение которых обработка металла, но которые также могут быть использованы для обработки других материалов (например, картона, пластика, резины, кожи и т. д.).

Настоящий стандарт применим к вспомогательным устройствам, поставляемым как неотъемлемая часть станка, и к станкам, которые являются частью интегрированной производственной системы, где требуемая энергия сопоставима с энергией станков, работающих отдельно.

В настоящем стандарте не приведены процедуры испытаний для определения требований к энергопотреблению инструментов или штампов, прикрепленных к станкам.

Настоящий стандарт не применим к станкам, основным назначением которых является:

- резка металла фрезерованием, сверлением или токарной обработкой;
- кислородная или водная резка металла;
- установка крепежных элементов, например заклепок, скреплений или стыковок;
- гибка или сгибание на гибочных станках;
- правка;
- экструдирование;
- ковка или штамповка;
- прессование металлического порошка;

Издание официальное

- штамповочные станки специального назначения, предназначенные исключительно для профилей, например используемые в строительной отрасли;
- обработка пневматическим молотком;
- обработка пневматическими прессами.

Примечание — Механические сервопрессы также называют сервоэлектрическими прессами.

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 14955-1, Machine tools — 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)

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 (Станки. Оценка условий окружающей среды для станков. Часть 2. Методы измерения количества энергии, потребляемой станками и деталями инструментальной оснастки)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 14955-1 и ИСО 14955-2, а также следующие термины с соответствующими определениями.

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

- платформа онлайн-просмотра ИСО, доступная по адресу: https://www.iso.org/obp;
- Электропедия МЭК, доступная по адресу: https://www.electropedia.org/.

3.1 **пресс** (press): Станок, сконструированный или предназначенный для передачи энергии инструменту/пуансону с целью обработки (например, формовки) металла или другого материала, обрабатываемого таким же образом между инструментами.

3.2 **гидравлический пресс; гидравлический сервопресс** (hydraulic press; hydraulic servo press): Пресс (см. 3.1), предназначенный для передачи энергии путем линейного перемещения поршня под давлением жидкости.

[ИСО 16092-1:2017, 3.1.4, изменен — примечание 1 к записи удалено]

3.3 **механический пресс** (mechanical press): Пресс (см. 3.1), сконструированный или предназначенный для передачи энергии от главного привода к инструменту/пуансону механическим способом с использованием механизма сцепления, который передает крутящий момент для придания движения маховику ползуна.

[ИСО 16092-1:2017, 3.1.2, изменен — примечание 1 к записи удалено]

3.4 **механический сервопресс** (mechanical servo press): Пресс (см. 3.1), сконструированный или предназначенный для передачи энергии инструменту/пуансону механическим способом с использованием механизма сервопривода без механизма сцепления для создания крутящего момента для придания движения ползуну.

[ИСО 16092-1:2017, 3.1.3, изменен — примечание 1 к записи удалено]

3.5 **пресс двойного действия** (double action press): Пресс (см. 3.1) с матрицей штампа для глубокой вытяжки.

3.6 **листогибочный пресс** (press brake): Станок, сконструированный или предназначенный для передачи энергии к движущейся части инструмента с помощью гидравлических и/или механических средств с использованием сервопривода или без него, главным образом для сгибания листовых заготовок по прямым линиям.

3.7 **трубогибочный станок** (pipe bender): Станок, сконструированный или предназначенный для передачи энергии для сжатия или растяжения путем гибки труб.

3.8 **револьверный штамповочный пресс** (turret punch press): Тип пресса (см. 3.1), используемый для вырезания отверстий в материале, может быть небольшим и управляться вручную, удерживая один простой набор штампов, или большего размера и управляться ЧПУ с помощью одно- или многопозиционной револьверной головки с гораздо большим и сложным набором штампов.

3.9 **станок для лазерной обработки** (laser processing machine tool): Станок(и), в который(е) встроен(ы) лазер(ы), обеспечивающий(е) достаточную энергию/мощность для расплавления, испарения или фазового перехода, по крайней мере, в определенной части заготовки, и который обладает функциональностью и безопасностью, необходимыми для использования.

[ИСО 11553-1:2005, 3.2, изменен — «механизм» заменен на «станок»]

3.10 **поршень/плунжер** (slide/ram): Основной элемент пресса для возвратно-поступательного движения (см. 3.1), который удерживает инструмент/пуансон.

[ИСО 16092-1:2017, 3.2.12]

3.11 **траверса** (beam): Основной элемент листогибочного пресса для возвратно-поступательного движения, который обычно удерживает пуансон при движении листогибочного пресса вниз и штамп при движении листогибочного пресса вверх.

[ЕН 12622:2009, 3.1.1]

3.12 **матрица штампа** (die cushion): Вспомогательное оборудование для штампа, которое накапливает и снимает или поглощает усилие, необходимое для некоторых операций на прессе (см. 3.1).

[ИСО 16092-1:2017, 3.2.6]

3.13 **инструмент/штамп** (tool/die): Устройство для придания материалу определенных формы, вида или отделки.

Пример — Формы из закаленной стали для изготовления рисунков на монетах и медалях под давлением, а также полые формы, в которые вдавливается металл или пластик.

3.14 **подвижная опора** (moving bolster): Подвижная плита, на которой установлены инструменты или штампы (см. 3.13) и которая перемещается при смене инструмента.

3.15 **автоматизированная система** (automation system): Система для загрузки и/или выгрузки заготовок с помощью высокоавтоматизированных средств, сводящих к минимуму вмешательство человека в процесс изготовления.

3.16 **распорка** (spacer): Устройство для удержания пространства открытым [например, между поршнем и подвижной опорой или между поршнем и матрицей штампа (см. 3.12)] на гидравлических или механических прессах.

3.17 **регенеративный контур** (regenerative circuit): Жидкость, поступающая со стороны штока цилиндра двойного действия, которая смешивается с жидкостью, поступающей в глухой конец цилиндра.

3.18 **общая мощность** (total power): Мощность, подаваемая на компонент станка в точке питания компонента.

3.19 **потеря мощности** (power loss): Потеря мощности, подаваемой на компонент станка, в основном преобразуемая в тепло (например, из-за потерь на трение или на дросселирование).

3.20 **инверторная система** (inverter system): Система, генерирующая переменную частоту для питания электродвигателей с переменной частотой вращения, состоящая из линейного реактора и/или линейного фильтра и самого инвертора.

3.21 **мертвая точка** (dead centre): Точка, в которой инструмент/пуансон во время своего перемещения находится:

- либо ближе всего к штампу (как правило, это соответствует концу хода закрытия), именуемая нижней мертвой точкой (BDC);
- либо дальше всего от штампа (как правило, это соответствует концу хода на открытие), именуемая верхней мертвой точкой (TDC).

[ИСО 16092-1:2017, 3.2.4]

4 Режимы работы для процедуры измерения

4.1 Режим работы «Выключено»

Во время измерения главный выключатель должен быть выключен.

4.2 Режим работы «Главный выключатель включен»

Главный выключатель и управляющее напряжение включены. Измеряемая мощность в основном представляет собой мощность, подаваемую на систему управления, и включает мощность, подаваемую в режиме работы «Выключено».

Мощность, необходимая для кондиционирования воздуха в шкафах управления, зависит от условий окружающей среды во время измерения.

4.3 Режим работы «Вспомогательные приводы включены»

Должны быть включены вспомогательные приводы и измерена средняя мощность в течение не менее 15 мин. Если вспомогательные приводы используются для зарядки аккумуляторов для регулирования давления и применяется режим включения/выключения зарядки, то измерение следует проводить, по крайней мере, в течение времени, указанного в режиме смены, и не менее пяти циклов зарядки. Если вспомогательный привод заряжает аккумуляторную систему, то измерение должно включать не менее пяти циклов зарядки.

Измеряемая мощность включает мощность, подаваемую на систему управления, когда главный выключатель включен. Разница с мощностью, подаваемой в режиме работы «Главный выключатель включен», является мощностью, подаваемой на вспомогательные приводы.

В станках для лазерной обработки генератор и охладитель включаются, и прогрев выполняется до тех пор, пока тепло, выделяемое генератором, и тепло, рассеиваемое излучением/охлаждением, не будут уравновешены.

Примечание — Время прогрева может варьироваться в зависимости от типа генератора.

4.4 Режим работы «Главные приводы включены»

Должны быть включены главные приводы и измерена средняя мощность за время, указанное в режиме смены.

Если главные приводы управляются инверторами (например, серводвигателем), а вращающийся привод непосредственно приводит в движение (например, поршень или матрицу штампа), то режим работы «Главные приводы включены» включается, когда главные приводы приводятся в действие с нулевой скоростью вращения.

Измеряемая мощность включает мощность, подаваемую при включенных вспомогательных приводах. Разница измеряемой мощности с мощностью, подаваемой в режиме работы «Главные приводы включены», является мощностью холостого хода, подаваемой на главные приводы.

4.5 Режим работы «Готов к работе в режиме обработки»

Измеряемая мощность включает мощность, подаваемую на вспомогательные функции, например системы автоматизации. Разница измеряемой мощности с мощностью, подаваемой в режиме работы «Главные приводы включены», является мощностью, подаваемой на системы автоматизации.

4.6 Режим работы «Обработка»

Поскольку этот режим работы основной, для которого предназначен станок, энергия должна определяться путем ее измерения на границе системы.

Должен быть рассчитан коэффициент энергоэффективности для различных типов станков, как описано в разделе 5.

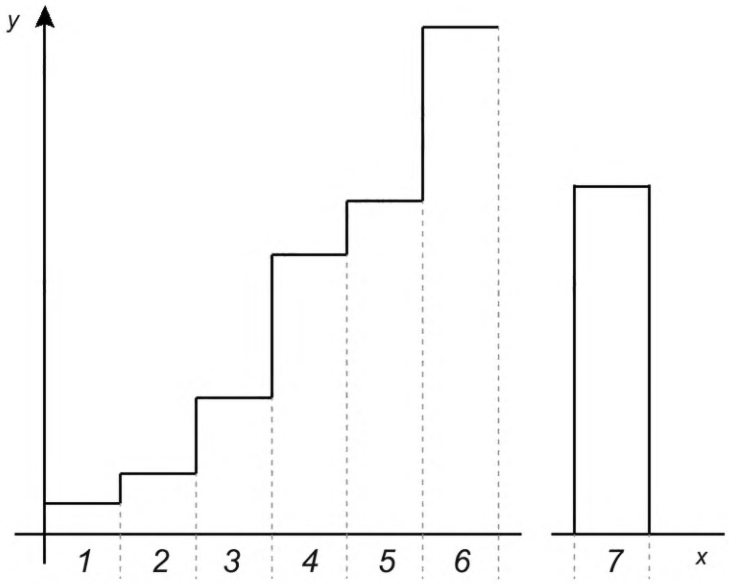
4.7 Режим работы «Смена инструмента»

В связи с тем что последовательность смены инструмента отличается от производственного цикла, режим работы «Смена инструмента» рассматривается как отдельный режим работы, и энергия, подаваемая в этом режиме, должна быть измерена. Это измерение следует проводить с использованием инструментов/штампов, масса которых соответствует типоразмеру пресса и согласована между производителем и пользователем.

Энергия, подаваемая в режиме работы «Смена инструмента», может быть определена с использованием методологии, описанной в ИСО 14955-2.

4.8 Типовой результат измерения мощности

На рисунке 1 показан результат измерения мощности, подаваемой в различных режимах работы.



x — режимы работы; *y* — мощность, кВт; *1* — режим работы «Выключено»; *2* — режим работы «Главный выключатель включен»; *3* — режим работы «Вспомогательные приводы включены»; *4* — режим работы «Главные приводы включены»; *5* — режим работы «Готов к работе в режиме обработки»; *6* — режим работы «Обработка»; *7* — режим работы «Смена инструмента»

Рисунок 1 — Типовая средняя мощность, подаваемая при различных режимах работы

5 Оценка энергопотребления различных типов станков

5.1 Общие положения

Установленное измерительное оборудование не должно снижать уровень безопасности станка [1], [2], [3].

Примечание — Это снижение может быть вызвано, например, обходом блокирующего(их) ограждения(й), внесения изменений в систему управления, связанных с безопасностью или установкой устройств, инициирующих ход, вместо двуручных устройств управления.

5.2 Энергия, подаваемая на прессы

5.2.1 Общие положения

Примеры гидравлических и механических прессов приведены в приложениях А и В.

5.2.2 Границы системы

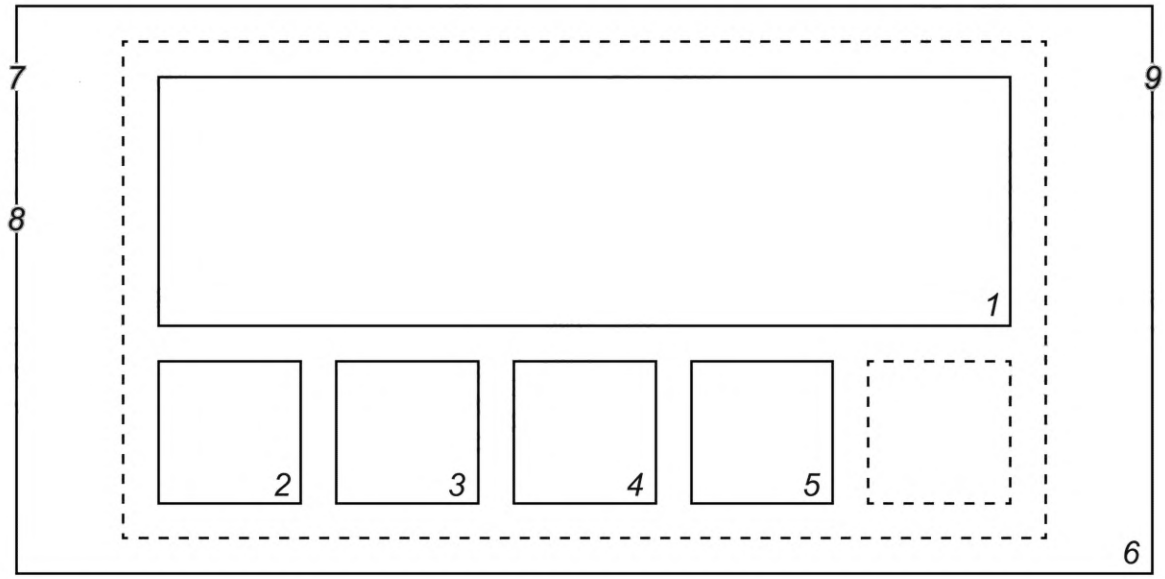
Поток энергии на границе системы во время испытательного запуска должен быть максимально приближен к потоку энергии на границе системы во время производства.

На рисунке 2 показан пример границ системы гидравлических и механических сервопрессов.

В границы системы во время испытательного запуска не включена энергия, необходимая для работы штампов и/или функций штампа (например, подъем заготовки, нагрев штампа в процессах отверждения, охлаждение штампа в процессах горячей формовки). Эти функции штампа отличаются большим разнообразием с точки зрения типа требуемой энергии (например, электрическая энергия, гидравлическая энергия, пар, охлаждающая жидкость для штампа, поток смазки для заготовки) и ее количества. Функции штампа зависят от технологического процесса и самого штампа, а не от станка.

5.2.3 Режим смены

Поскольку режимы смены зависят от оборудования (например, оснащенного автоматической или ручной сменой инструмента) и, следовательно, могут отличаться с учетом характеристик каждого станка и предпочтений пользователя станка (например, количество смен инструмента за смену), для измерения может быть установлен определенный режим смены в соответствии с ИСО 14955-2:2018, 5.2.2. Необходимо указать режим смены и групповой режим смены.



1 — станок; *2* — компонент станка A, например поршень; *3* — компонент станка B, например матрица штампа; *4* — компонент станка C; *5* — компонент станка D; *6* — граница системы; *7* — электрическая энергия; *8* — сжатый воздух; *9* — теплообмен

Рисунок 2 — Граница системы гидравлических и механических сервопрессов

5.2.4 Минимальный период измерения

Периодом измерения по умолчанию является период наблюдения. Во время измерения может быть принято решение о сокращении периода измерения. В этом случае потребляемая энергия должна быть экстраполирована для соответствия заданному режиму смены. Должна быть указана причина сокращения, например: повторяющийся режим или стабилизация подачи электроэнергии через некоторое время.

В заданном режиме смены периоды измерения для каждого режима работы в стабильных условиях должны соответствовать приведенным в таблице 1.

Таблица 1 — Минимальные периоды измерений в заданном режиме смены

Режим работы	Период измерения
1: «Выключено»	5 мин
2: «Главный выключатель включен»	5 мин
3: «Вспомогательные приводы включены»	10 мин
4: «Главные приводы включены»	10 мин
5: «Готов к работе в режиме обработки»	10 мин
6: «Обработка»: прерывистая	30 мин и 10 циклов
7: «Обработка»: непрерывная (только прессы с автоматической подачей)	30 мин и 10 циклов
8: «Смена инструмента»	Одна полная последовательность смены инструмента

Время измерения в режиме работы «Обработка» должно составлять не менее 30 мин. Если за это время выполнено менее 10 циклов (например, в прессах для процессов отверждения), измерение следует продолжать до тех пор, пока не будет выполнено 10 полных циклов.

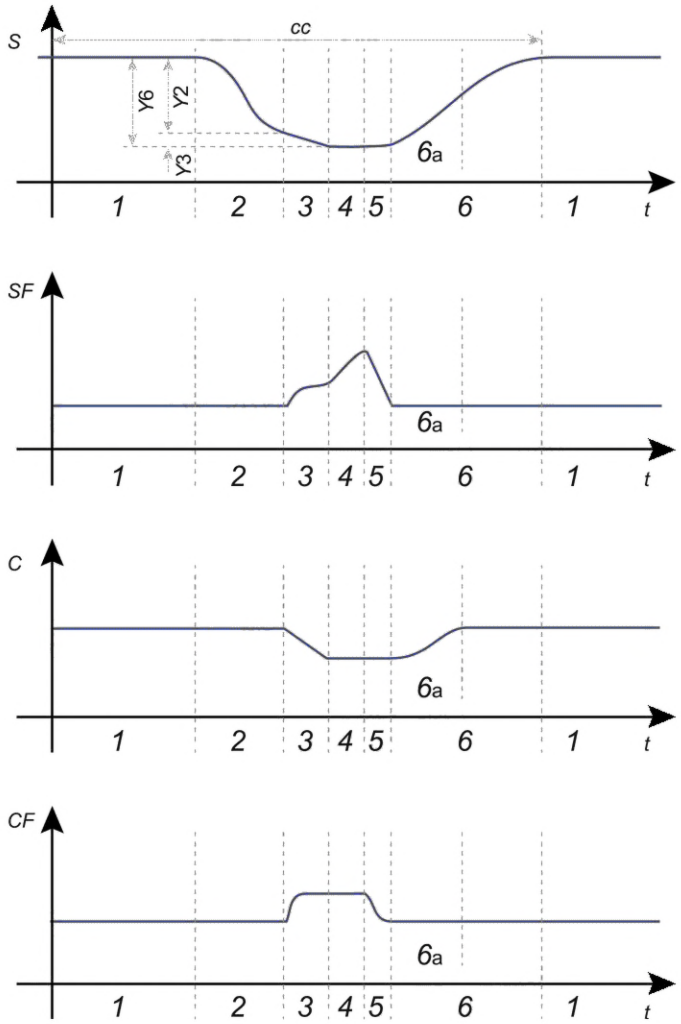
В режиме работы «Обработка» измерение должно быть выполнено на станке в периодическом (циклическом) режиме. Если общее время перерыва (например, из-за неисправности) при измерениях превышает 10 % от запланированного времени измерения, требуется повторное проведение измерений. Если общее время перерыва менее или равно 10 % от запланированного времени измерения, период измерения должен быть продлен.

5.2.5 Типовая диаграмма цикла прессования

В связи с тем что процесс глубокой вытяжки является одним из наиболее распространенных процессов на прессах во всем мире, этот пример отражает типовой процесс глубокой вытяжки на прессе двойного действия с понижающим ходом (на прессах с восходящим ходом ход ползуна перевернут, и формулы должны соответствовать этой ситуации). Даже если для процессов, отличных от глубокой вытяжки, или для прессов двойного действия используют другие циклические схемы, принцип этой циклической схемы остается действительным.

Если пользователь может отключить функцию рекуперации энергии/энергосбережения, измерение следует проводить с включенной и отключенной функцией рекуперации энергии/энергосбережения.

Для получения подробной информации о потребляемой энергии и энергоэффективности в режиме работы «Обработка» цикл прессования должен быть разбит на действия со станком (см. рисунок 3).



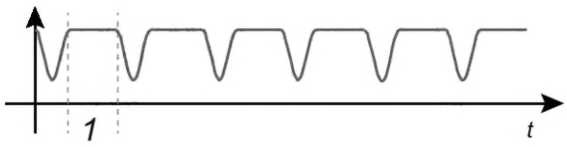
1 — действие на станке 1: ползун находится в режиме ожидания в верхней мертвой точке. Ползун ожидает сигнала запуска, пока заготовка загружается в штамп. *2* — действие на станке 2: ползун опускается. Ползун опускает штамп. *3* — действие на станке 3: формование. Ползун формирует заготовку, и матрица перемещается под действием ползуна. *4* — действие на станке 4: штампование. Ползун прикладывает заданное усилие в нижней мертвой точке и начинает выдерживать время в нижней мертвой точке. *5* — действие на станке 5: декомпрессия. Декомпрессия рамы пресса, матрицы штампа и поршня цилиндра (гидравлический пресс)/шестерни и приводного механизма (механический пресс). Пользователь не может регулировать степень декомпрессии. *6* — действие на станке 6: возврат ползуна в исходное положение. Ползун возвращается в положение верхней мертвой точки. *6a* — действие на станке 6a: извлечение заготовки. Матрица штампа приподнимает заготовку для выгрузки.

S — ход ползуна; *SF* — усилие ползуна; *C* — ход матрицы; *CF* — усилие матрицы; *t* — время; *cc* — полный цикл; *Y2* — ход ползуна между нижней мертвой точкой и контактом с заготовкой; *Y3* — расстояние, на которое смещается матрица; *Y6* — полный ход ползуна

Рисунок 3 — Типовая диаграмма цикла прессования при выполнении действий на станке для пресса с понижающим ходом

5.2.6 Эталонный и испытательный циклы для гидравлических сервопрессов в режиме работы «Обработка»

Измерения на прессе проводят в режиме прерывистой и непрерывной (пресс с автоматической подачей) работы в течение периода времени, указанного в режиме смены (см. рисунок 4).



1 — время выдержки в верхней мертвой точке; *t* — время

Рисунок 4 — Типовая диаграмма цикла прессования для гидравлических прессов

В таблице 2 приведены заданные значения для испытательного цикла (при настройке пользователем, значения, %, относятся к номинальному значению).

Таблица 2 — Настройки для испытательного цикла гидравлических прессов

Компонент станка	Действие на станке	Параметр	Заданное значение
Ползун	Ожидание в верхней мертвой точке (1)	Время выдержки в верхней мертвой точке для прессов с ручной подачей при номинальном времени цикла менее 5 с	1 с
		Время выдержки в верхней мертвой точке для прессов с ручной подачей при номинальном времени цикла, равном или превышающем 5 с, но менее 30 с	4 с
		Время выдержки в верхней мертвой точке для прессов с ручной подачей при номинальном времени цикла, равном или превышающем 30 с	8 с
	Закрытие (2)	Нижний ход (*Y*2, % от номинального значения)	60 %
		Скорость закрытия (% от номинального значения)	100 %
	Работа (3)	Рабочий ход (*Y*3, % от номинального значения)	20 %
		Рабочая скорость (% от номинального значения)	70 %
	Время выдержки в нижней мертвой точке (4)	Усилие (% от номинального значения)	70 %
		Давление с номинальным временем цикла менее 5 с	0,3 с
		Давление с номинальным временем цикла, равным или превышающим 5 с, но менее 30 с	1 с
		Давление с номинальным временем цикла, равным или превышающим 30 с	20 с
	Возврат (6)	Обратный ход (*Y*6, % от номинального значения)	80 %
		Скорость возврата (% от номинального значения)	100 %
Матрица(ы) штампа(ов)	Ход матрицы штампа (*Y*3, % от номинального значения)		80 %
	Усилие матрицы штампа (% от номинального значения)		80 %
	Усилие матрицы штампа (% от номинального значения)		80 %
Автоматизированная система	Скорость перемещения всех осей		80 %

Цикл прессования должен учитывать предполагаемый производственный процесс (например, штамповку, ковку, отверждение), чтобы обеспечить реалистичную оценку энергопотребления. Если пресс предназначен для более чем одного производственного процесса (например, штамповки и отверждения), необходимо провести оценку энергопотребления для всех процессов, для которых предназначен пресс.

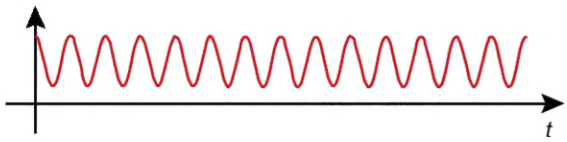
На прессах с ручной подачей испытательный цикл должен включать время, необходимое для ручной подачи (время выдержки в верхней мертвой точке). На прессах с автоматической загрузкой/разгрузкой испытательный цикл должен включать работу автоматизированной системы, а время выдержки в верхней мертвой точке зависит от времени цикла автоматизированной системы.

Если пользователь выбирает средства рекуперации/сохранения энергии, измерение следует проводить как с активными средствами рекуперации/сохранения энергии, так и без них.

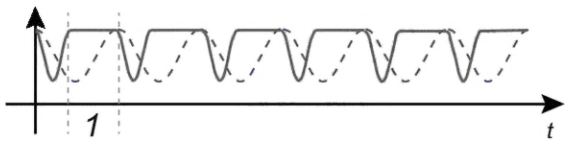
Чтобы обеспечить повторяющиеся измерения в воспроизводимых условиях, данные о процессе, относящиеся к энергопотреблению, должны быть указаны в отчете об испытании.

5.2.7 Эталонный и испытательный циклы для механических сервопрессов в режиме работы «Обработка»

На рисунке 5 показаны типовые диаграммы циклов прессования для механических сервопрессов.



a) Непрерывный режим работы при 70 % SPM (хода ползуна в минуту)



b) Прерывистый ход при 30 % SPM и скорости 70 %

1 — время выдержки в верхней мертвой точке; *t* — время

Рисунок 5 — Типовые диаграммы циклов прессования для механических сервопрессов

Измерения на прессе проводят при непрерывной и прерывистой работе в течение периода времени, указанного в 5.2.4.

В таблицах 3 и 4 приведены заданные значения для испытательного цикла (при настройке пользователем, значения, %, относятся к номинальному значению).

Таблица 3 — Настройки для испытательного цикла механических прессов

Компонент станка	Параметр	Заданное значение
Ползун	Скорость вращения маховика	70 %
	Время выдержки в верхней мертвой точке при периодической работе прессов с номинальным значением частоты вращения, равным или превышающим 12 SPM	1 с
	Время выдержки в верхней мертвой точке при периодической работе прессов с номинальным значением частоты вращения менее 12 SPM	2 с
Регулировка длины хода	Длина хода (*Y6*)	≥80 %
Матрица(ы) штампа(ов)	Усилие матрицы штампа при 25 %-ном ходе матрицы (% от номинального значения)	30 %

Окончание таблицы 3

Компонент станка	Параметр	Заданное значение
	Усилие матрицы штампа при 40 %-ном ходе матрицы (% от номинального значения)	10 %
	Скорость выталкивания матрицы штампа (если регулируется, % от номинального значения)	80 %
Автоматизированная система	Скорость перемещения всех осей	80 %

Таблица 4 — Настройки для испытательного цикла механических сервопрессов

Компонент станка	Действие на станке	Параметр	Заданное значение
Ползун	Ожидание в верхней мертвой точке (1)	Время выдержки в верхней мертвой точке при периодической работе прессов с номинальным значением частоты вращения, равным или превышающим 12 SPM	1 с
		Время выдержки в верхней мертвой точке при периодической работе прессов с номинальным значением частоты вращения менее 12 SPM	2 с
	Закрытие (2)	Нижний ход (*Y*2, % от номинального значения)	70 %
		Скорость закрытия (% от номинального значения)	100 %
	Работа (3)	Рабочий ход (*Y*3, % от номинального значения)	70 %
		Рабочая скорость (% от номинального значения)	70 %
	Возврат (6)	Обратный непрерывный ход (*Y*6, % от номинального значения)	100 %
		Обратный прерывистый ход (*Y*6, % от номинального значения)	50 %
		Скорость возврата (% от номинального значения)	100 %
Регулировка длины хода	Длина хода (*Y*6)		≥80 %
Матрица(ы) штампа(ов)	Усилие матрицы штампа при 25 %-ном ходе матрицы (% от номинального значения)		30 %
	Усилие матрицы штампа при 40 %-ном ходе матрицы (% от номинального значения)		10 %
	Скорость выталкивания матрицы штампа (если регулируется, % от номинального значения)		80 %
Автоматизированная система	Скорость перемещения всех осей		80 %

5.2.8 Использование распорок вместо штампа во время пробного запуска

Для изготовления заготовок на прессах, описанных в настоящем стандарте, требуются индивидуальные штампы. Эти штампы изготавливают исключительно для данной заготовки и подлежат вторичной переработке или продаже, как только производство данного изделия прекращается.

Энергия, подаваемая для формирования заготовки, в основном зависит от типа материала (например, сталь, нержавеющая сталь, высоколегированная сталь, алюминий), от степени формования, температуры заготовки (например, горячая/холодная), трения заготовки в штампе (в основном под влиянием трибологии) и износа штампа.

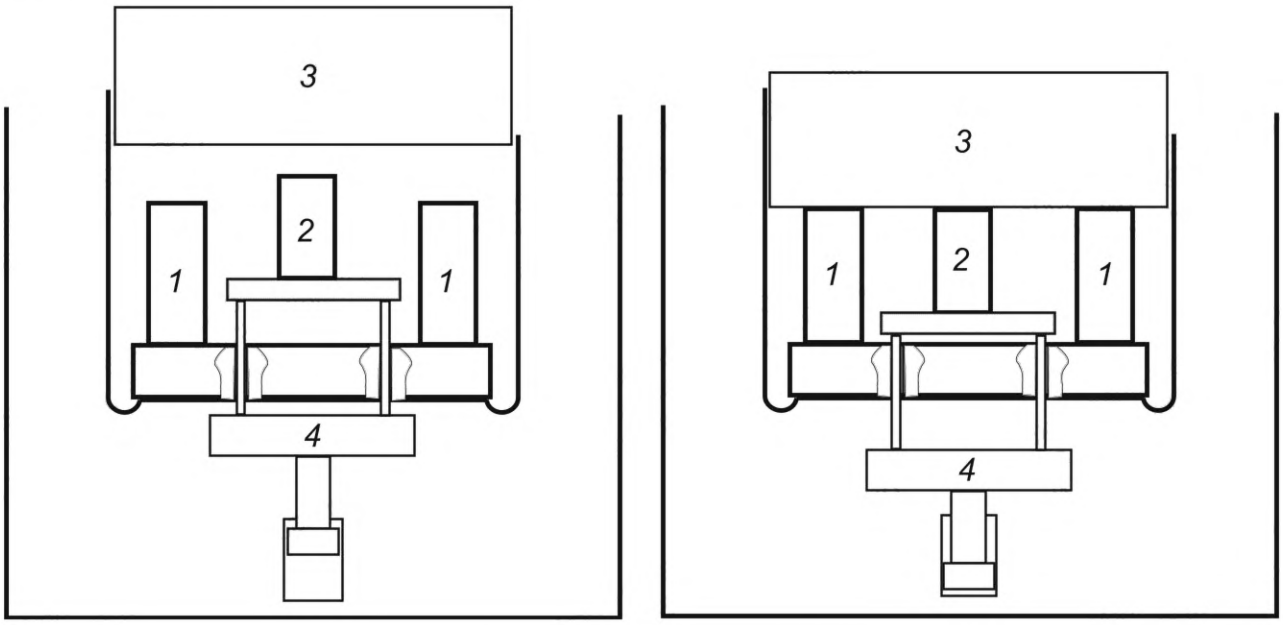
Если пробный запуск для оценки энергопотребления проводят с использованием специального штампа, невозможно гарантировать, что при повторном измерении через более длительный период времени (например, через год) можно будет получить те же условия измерения. Практичным способом достижения воспроизводимых условий при проведении испытаний для оценки энергопотребления является использование распорок, которые обеспечивают реалистичный (производственный) цикл.

Примечание — Распорки в основном изготавливают из цельных стальных блоков с обработанными верхней и нижней поверхностями. Количество установленных распорок зависит от их размера и усилия, прилагаемого во время испытания.

Распорки должны:

- позволять провести пробный испытательный цикл в соответствии с эталонным циклом;
- выдерживать все усилия и скорости, применяемые во время измерений;
- храниться на месте эксплуатации или быть легкодоступными для аренды или приобретения в приемлемые сроки.

На рисунке 6 показан пример гидравлического или механического пресса двойного действия с установленными распорками.



a) Ползун в верхней мертвой точке

b) Ползун в нижней мертвой точке (конец нижнего хода)

1 — распорки для ползуна; *2* — распорки для матрицы штампа; *3* — ползун; *4* — матрица штампа

Рисунок 6 — Пример гидравлического или механического пресса двойного действия с установленными распорками

Если в прессе не установлена матрица штампа, на прессах с функцией декомпрессии пружины в качестве распорок можно использовать пружины. В других случаях измерение следует проводить с учетом силы скольжения, создаваемой распоркой(ами).

Технические данные и размеры распорки(ок) должны быть указаны и предоставлены пользователю для обеспечения возможности проведения воспроизводимых измерений в дальнейшем.

5.3 Энергия, подаваемая на листогибочные прессы

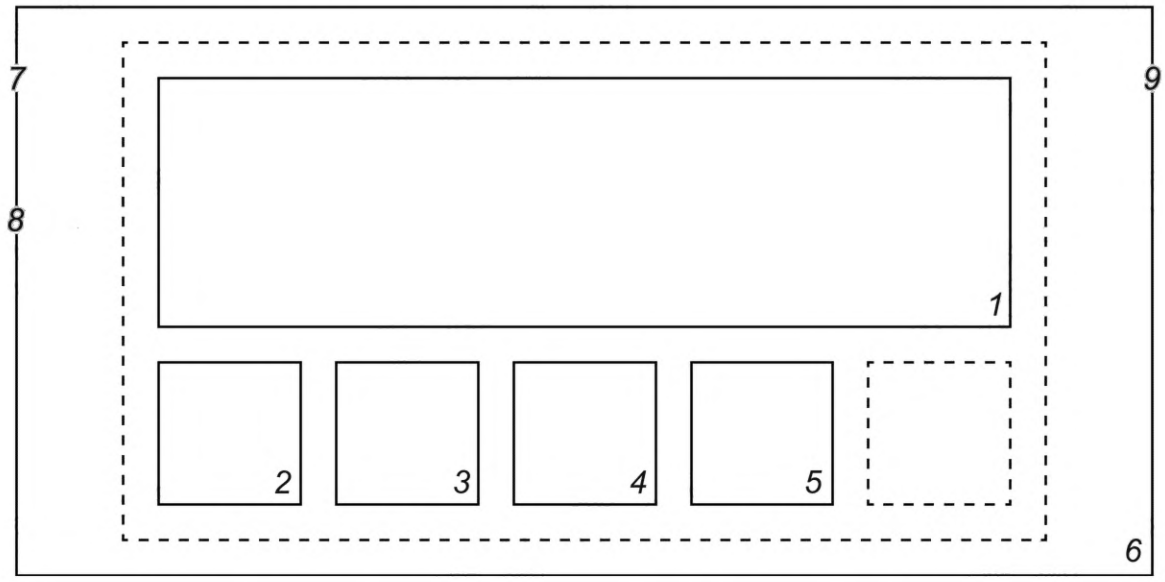
5.3.1 Общие положения

Пример гидравлического листогибочного пресса приведен в приложении С.

В настоящем стандарте рассмотрен тип листогибочных прессов, приводимых в действие гидравлическими средствами (включая гибридные системы) и прямыми электрическими средствами.

5.3.2 Граница системы

Поток энергии на границе системы во время пробного запуска должен быть максимально приближен к потоку энергии на границе системы во время производства (см. рисунок 7).



1 — станок; *2* — компонент станка A, например траверса; *3* — компонент станка B, например задний датчик; *4* — компонент станка C, например узел подачи; *5* — компонент станка D; *6* — граница системы; *7* — электрическая энергия; *8* — сжатый воздух; *9* — теплообмен

Рисунок 7 — Граница системы листогибочного пресса

В границы системы во время пробного запуска не входит энергия, необходимая для выполнения определенных вспомогательных функций (например, контрольного устройства и вспомогательного робота), систем автоматической смены инструмента и устройств повышения точности процесса (индикатор гибки и т. д.).

5.3.3 Режим смены

Поскольку режимы смены зависят от оборудования (например, блока ЧПУ, схемы расположения штампов и оборудования для штамповки) и, следовательно, могут отличаться для каждого станка и пользователя станка, для измерения может быть настроен определенный режим смены в соответствии с ИСО 14955-2:2018, 5.2.2. Информация о режиме смены и групповом режиме смены должна быть документирована.

5.3.4 Минимальный период измерения

Период измерения по умолчанию — это период наблюдения. На основании результатов мониторинга, полученных во время измерения, период измерения может быть сокращен, а подаваемая энергия должна быть экстраполирована для соответствия заданному режиму смены. Причина сокращения должна быть указана. Типовыми причинами сокращения времени являются повторяющиеся изменения или стабилизация подачи электроэнергии через некоторое время.

В заданном режиме смены периоды измерения для каждого режима работы в стабильных условиях, как минимум, должны соответствовать приведенным в таблице 5.

Таблица 5 — Минимальные периоды измерений в заданном режиме смены

Режим работы	Период измерения
1: «Выключено»	5 мин
2: «Главный выключатель включен»	5 мин
3: «Вспомогательные приводы включены»	10 мин
4: «Главные приводы включены»	10 мин

Окончание таблицы 5

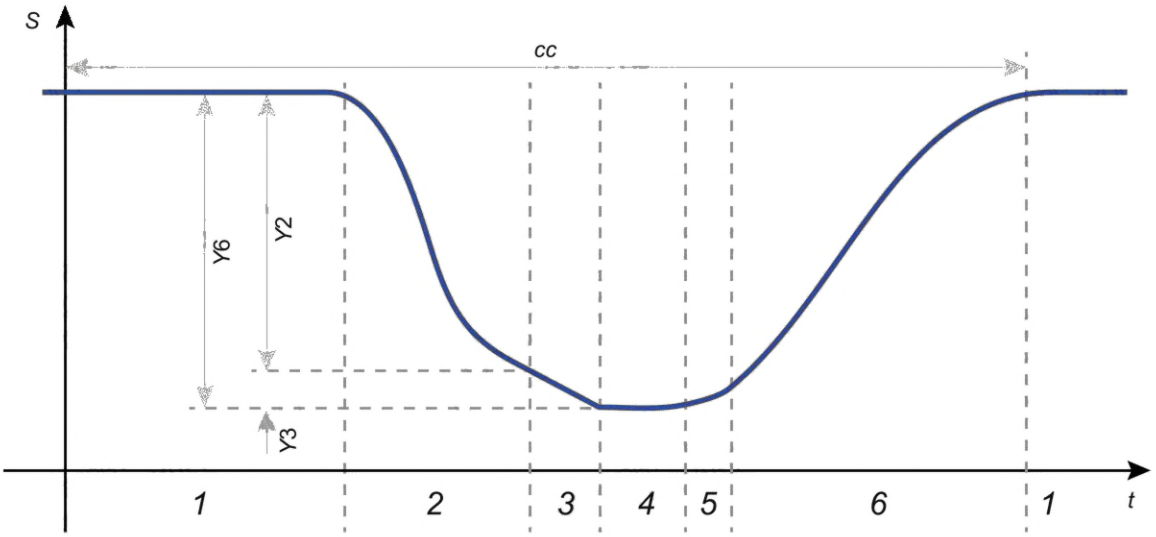
Режим работы	Период измерения
5: «Готов к работе в режиме обработки»	10 мин
6: «Обработка»: прерывистая	20 мин и 100 циклов
7: «Смена инструмента»	Одна полная последовательность смены инструмента

Время измерения в режиме работы «Обработка» должно составлять не менее 20 мин. Если за это время выполнено менее 100 циклов, измерение следует продолжать до тех пор, пока не будет выполнено 100 полных циклов гибки.

В режиме работы «Обработка» измерения должны быть выполнены на станке в периодическом (циклическом) режиме. Если общее время перерыва (например, из-за неисправности) при измерениях превышает 10 % от запланированного времени измерения, требуется повторное проведение измерений. Если общее время перерыва менее или равно 10 % от запланированного времени измерения, период измерения должен быть продлен.

5.3.5 Типовая диаграмма цикла листогибочного пресса

На рисунке 8 показана типовая диаграмма цикла листогибочного пресса.



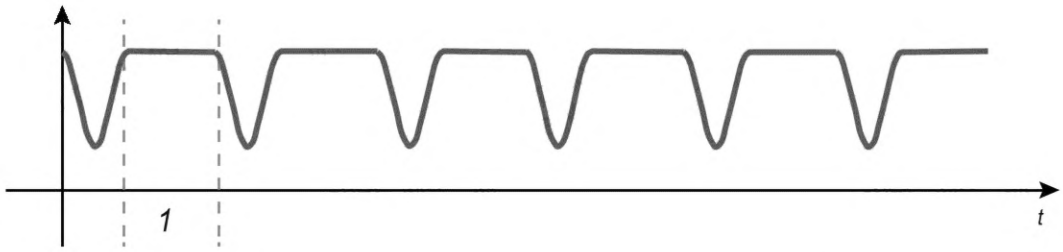
1 — действие на станке 1: ожидание запуска. Ожидание сигнала запуска при загрузке заготовки в штамп.
2 — действие на станке 2: движение траверсы. Ускоренный холостой ход (расстояние *Y*2).
3 — действие на станке 3: изгиб. Сгибание (расстояние *Y*3).
4 — действие на станке 4: сжатие. Применение заданного усилия и начало времени выдержки в нижней мертвой точке.
5 — действие на станке 5: декомпрессия. Пользователь не может регулировать степень декомпрессии.
6 — действие на станке 6: возврат. Ускоренный возвратный ход (дистанция *Y*6).
Условия измерения:
- повышение давления с помощью распорки и т. д.;
- 100 циклов операций;
- время работы 20 мин.

S — ход балки; *t* — время; *cc* — полный цикл; *Y*2 — ход траверсы между верхней мертвой точкой и контактом с заготовкой; *Y*3 — расстояние изгиба; *Y*6 — полный ход траверсы

Рисунок 8 — Типовая диаграмма цикла листогибочного пресса с действиями на станке

5.3.6 Эталонный и испытательный циклы гидравлического/механического листогибочного сервопресса в режиме работы «Обработка»

На рисунке 9 показана типовая диаграмма цикла испытаний гидравлического/механического листогибочного сервопресса в прерывистом режиме работы.



1 — время выдержки в верхней мертвой точке; *t* — время

Рисунок 9 — Типовая диаграмма цикла испытаний гидравлического/механического листогибочного сервопресса пресса (прерывистый режим работы)

Измерения листогибочного пресса выполняют в прерывистом режиме работы в течение периода времени, указанного в заданном режиме смены.

В таблице 6 приведены заданные значения для испытательного цикла (при настройке пользователем значения, %, относятся к номинальному значению).

Таблица 6 — Настройки для испытательного цикла гидравлического/механического листогибочного сервопресса пресса

Компонент станка	Параметр	Заданное значение
Траверса	Ускоренный холостой ход (2)	100 %
	Ускоренный возвратный ход (*Y*2) (% от номинального хода)	35 %
	Скорость изгиба (3)	70 %
	Ход изгиба (*Y*3)	10 мм
	Скорость подъема	100 %
	Ход подъема	*Y*6
	Усилие (4)	50 %
	Время выдержки в нижней мертвой точке	0,5 с
	Время выдержки в верхней мертвой точке	2 с
Возвратный ход и т. д.	Скорость перемещения всех осей	100 %

Примечание — Для достижения воспроизводимых условий испытательный цикл проводят с использованием распорки без гибочной пластины.

Если заготовка подается на листогибочный пресс вручную, в испытательный цикл должно быть включено время, необходимое для подачи заготовки (время выдержки в верхней мертвой точке).

Если листогибочный пресс оснащен устройствами автоматической подачи заготовки, то испытательный цикл должен включать в себя работу устройства автоматической подачи (подача заготовки). Время работы устройства автоматической подачи заготовки становится временем простоя (временем ожидания), которое зависит от возможностей этого устройства.

Если пользователь может отключить функцию рекуперации энергии/энергосбережения, измерение следует проводить с включенной или отключенной функцией рекуперации энергии/энергосбережения.

Для того чтобы обеспечить повторные измерения в воспроизводимых условиях, данные о процессе, относящиеся к энергопотреблению, должны быть задокументированы в отчете.

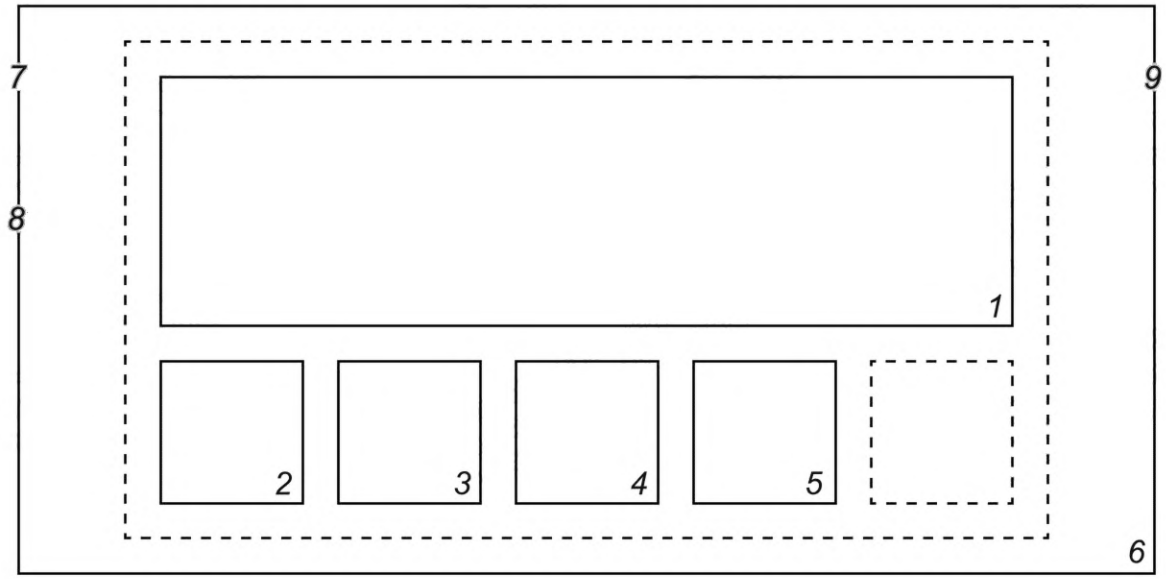
5.4 Энергия, подаваемая на трубогибочные станки

5.4.1 Общие положения

Пример трубогибочного станка приведен в приложении F.

5.4.2 Граница системы

Поток энергии на границе системы во время пробного запуска должен быть максимально приближен к потоку энергии на границе системы во время производства (см. рисунок 10).



1 — станок; *2* — компонент станка A; *3* — компонент станка B; *4* — компонент станка C; *5* — компонент станка D; *6* — граница системы; *7* — электрическая энергия; *8* — сжатый воздух; *9* — теплообмен

Рисунок 10 — Граница системы трубогибочного станка

5.4.3 Режим смены

Поскольку режимы смены зависят от оборудования (например, блока ЧПУ, схемы расположения штампов и оборудования для штамповки) и, следовательно, могут отличаться для каждого станка и пользователя станка, для измерения может быть установлен заданный режим смены в соответствии с ИСО 14955-2:2018, 5.2.2. Необходимо указать режим смены и групповой режим смены.

5.4.4 Минимальный период измерения

Период измерения по умолчанию равен периоду наблюдения. На основании результатов наблюдения во время измерения период измерения может быть сокращен, а подаваемая энергия должна быть экстраполирована для соответствия заданному режиму смены. Причина сокращения должна быть указана. Типовыми причинами сокращения времени являются повторяющиеся изменения или стабилизация подачи электроэнергии через некоторое время.

В заданном режиме смены периоды измерения для каждого режима работы в стабильных условиях, как минимум, должны соответствовать приведенным в таблице 7.

Таблица 7 — Минимальные периоды измерений в заданном режиме смены

Режим работы	Период измерения
1: «Выключено»	5 мин
2: «Главный выключатель включен»	5 мин
3: «Вспомогательные приводы включены»	10 мин
4: «Главные приводы включены»	10 мин
5: «Готов к работе в режиме обработки»	10 мин
8: «Обработка»	Пять циклов

В режиме работы «Обработка» измерения должны быть выполнены на станке в периодическом (циклическом) режиме. Если общее время перерыва (например, из-за неисправности) при измерениях превышает 10 % от запланированного времени измерения, требуется повторное проведение измерений. Если общее время перерыва менее или равно 10 % от запланированного времени измерения, период измерения должен быть продлен.

5.4.5 Испытательный цикл

Минимальное время измерения в заданном режиме смены составляет пять циклов (т. е. пять труб с несколькими изгибами на каждой трубе) (см. таблицу 8 и рисунок 11).

Таблица 8 — Настройки в испытательном цикле для трубогибочного станка

Материал/процесс	Параметр	Настройка
Испытуемый материал	- Труба из углеродистой стали для конструкции станка или, если она отличается, стандартный материал трубы для испытуемого станка, например медь; - или другой материал, согласованный между производителем и пользователем	SPCC [5], DC01 [6], 1,033 [7]
	Диаметр трубы	100 %
	Толщина стенки трубы	Для получения 90 % от номинального изгибающего момента
Процесс изгиба (5 изгибов для каждой трубы)	(*L*) Длина подачи	200 мм
	(*A*) Угол изгиба	90°
	(*R*) Вращение между последовательными изгибами	90°
	Радиус изгиба	Два диаметра

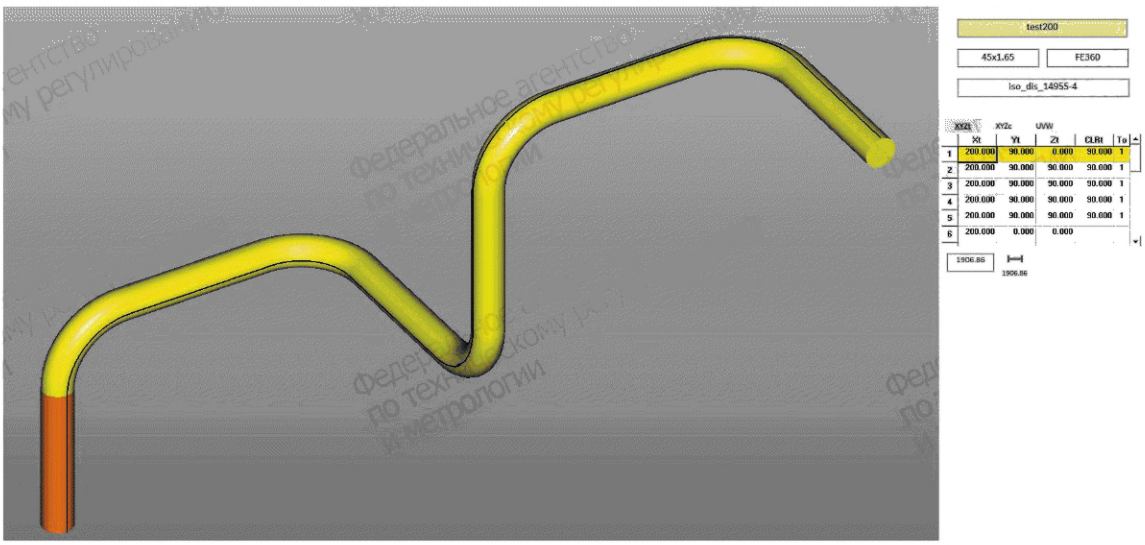


Рисунок 11 — Испытательная заготовка с изгибом на 90° каждые 200 мм

Должны быть указаны используемые гибочные инструменты (например, оправка, плашки для очистки) и фактический изгибающий момент (измеренный приводом станка).

Если станок может использовать различные стратегии гибки (например, гибку вытяжкой, гибку сжатием), все технологии должны быть проверены и задокументированы.

На рисунке 11 показана испытательная заготовка с изгибом на 90° каждые 200 мм.

5.5 Энергия, подаваемая на револьверные штамповочные прессы

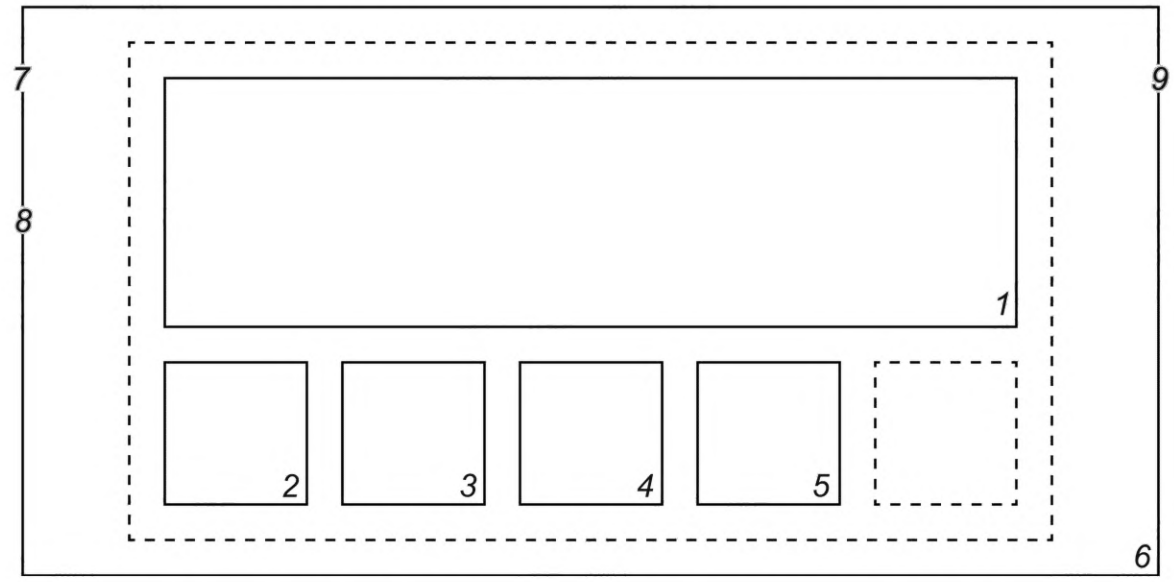
5.5.1 Общие положения

Пример револьверного штамповочного пресса приведен в приложении D.

Тип револьверного штамповочного пресса, рассматриваемый в настоящем стандарте, приводят в действие электрическим приводом.

5.5.2 Границы системы

Поток энергии на границе системы во время пробного запуска должен быть максимально приближен к потоку энергии на границе системы во время производства (см. рисунок 12).



1 — станок; *2* — компонент станка A, например рама; *3* — компонент станка B, например привод пресса; *4* — компонент станка C, например револьверная головка; *5* — компонент станка D, например передвижная платформа; *6* — граница системы; *7* — электрическая энергия; *8* — сжатый воздух; *9* — теплообмен

Рисунок 12 — Граница системы револьверных штамповочных прессов

5.5.3 Режим смены

Поскольку режимы смены зависят от оборудования (например, блока ЧПУ, устройства загрузки и выгрузки листов) и, следовательно, могут отличаться для каждого станка и пользователя станка, для измерения может быть настроен заданный режим смены в соответствии с ИСО 14955-2:2018, 5.2.2. Необходимо указать режим смены и групповой режим смены.

5.5.4 Минимальный период измерения

Период измерения по умолчанию равен периоду наблюдения. На основании результатов наблюдения во время измерения период измерения может быть сокращен, а подаваемая энергия должна быть экстраполирована для соответствия заданному режиму смены. Должна быть указана причина сокращения. Типовыми причинами сокращения времени являются повторяющиеся изменения или стабилизация подачи электроэнергии через некоторое время.

В заданном режиме смены периоды измерения для каждого режима работы в стабильных условиях должны, как минимум, соответствовать приведенным в таблице 9.

Таблица 9 — Минимальные периоды измерений в заданном режиме смены

Режим работы	Период измерения
1: «Выключено»	5 мин
2: «Главный выключатель включен»	5 мин
3: «Вспомогательные приводы включены»	10 мин
4: «Готов к работе в режиме обработки»	10 мин и один лист
6: «Обработка»	10 мин
7: «Смена инструмента»	Один полный цикл смены инструмента

Время измерения в режиме работы «Обработка» должно составлять не менее 10 мин. Если за это время обработано менее одного листа, измерение следует продолжать до тех пор, пока один лист не будет обработан полностью.

В режиме работы «Обработка» измерения должны быть выполнены на станке в периодическом (циклическом) режиме. Если общее время перерыва (например, из-за неисправности) при измерениях превышает 10 % от запланированного времени измерения, требуется повторное проведение измерений. Если общее время перерыва менее или равно 10 % от запланированного времени измерения, период измерения должен быть продлен.

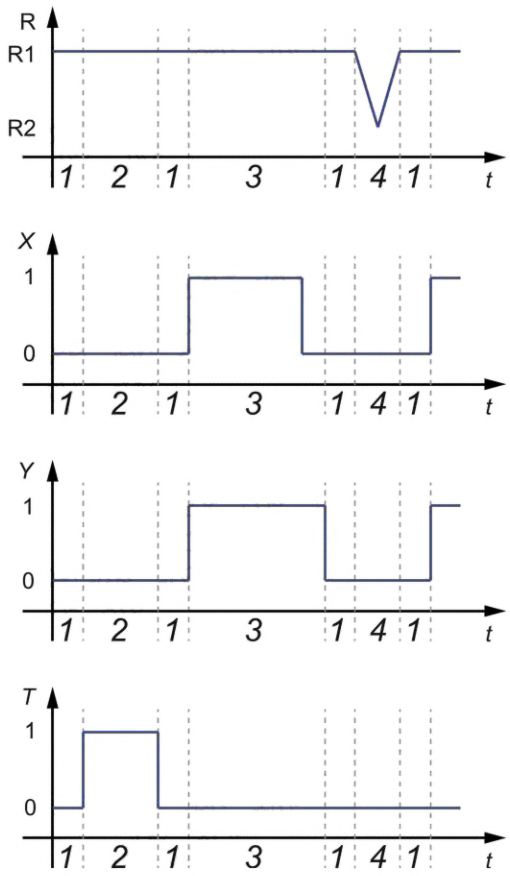
5.5.5 Эталонный и испытательный циклы для револьверных штамповочных прессов в режиме работы «Обработка»

На рисунке 13 показана типовая диаграмма цикла револьверного штамповочного пресса.

Скорость осевой подачи и скорость плунжера должны быть установлены на максимальном уровне, соответствующем техническим характеристикам станка.

Необходимо выполнять одновременное позиционирование осей *X* и *Y*, а также опускание и подъем плунжера после завершения позиционирования обеих осей.

Рекомендуемые технические характеристики испытательного образца, используемые при измерении, приведены в таблице 10. Если технические характеристики не выполнены, необходимо задокументировать заданные значения и другие соответствующие данные [см. раздел 6, перечисления d) и j)].



1 — действие на станке 1: «Режим ожидания». Ожидание сигнала запуска осей.

2 — действие на станке 2: позиционирование штампа. Ось *T* вращается для установки штампа в центр пуансона.

3 — действие на станке 3: позиционирование заготовки. Перемещение по осям *X* и *Y* для установки заготовки в положение обработки.

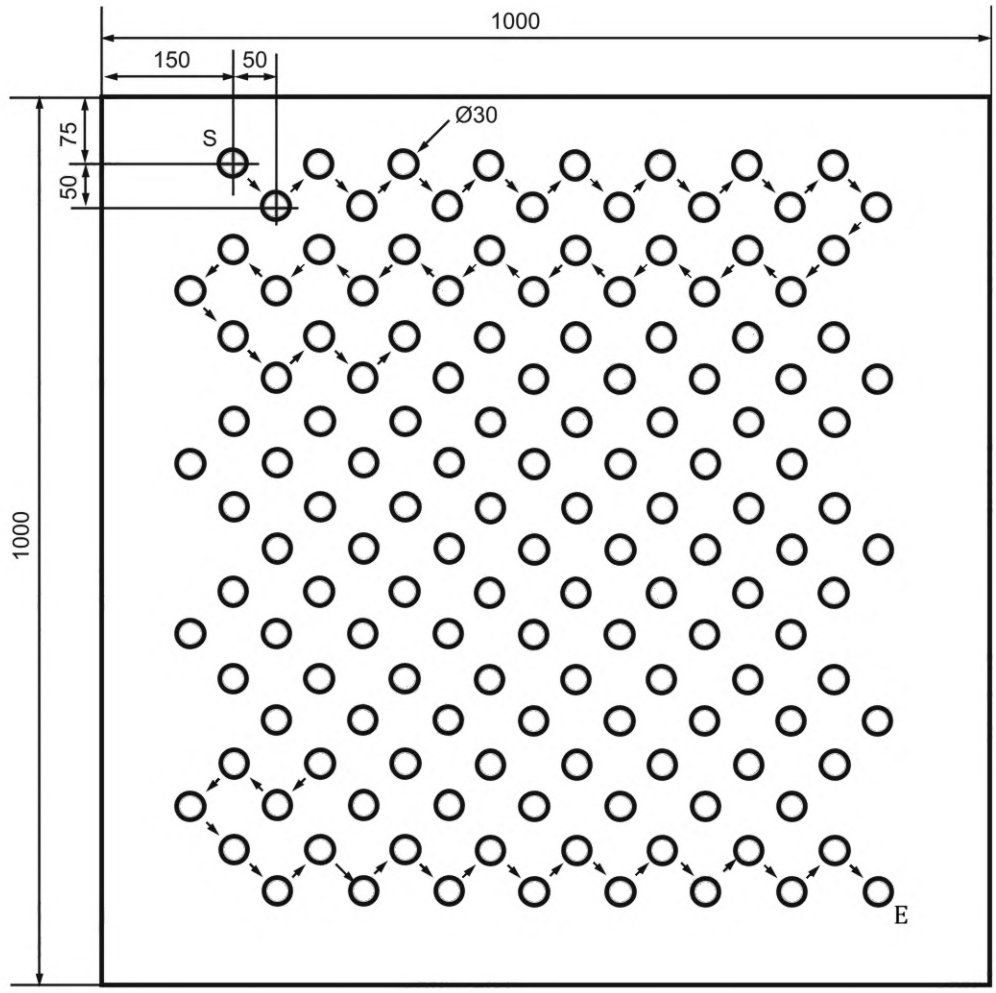
4 — действие на станке 4: пробивка. Плунжер опускается и пробивает отверстия, затем перемещается к верхнему торцу.

R — плунжер; R1 — верхняя часть плунжера; R2 — нижняя часть плунжера; X — ось *X* активна; Y — ось *Y* активна; T — ось *T* активна; *t* — время

Рисунок 13 — Типовая диаграмма цикла револьверного штамповочного пресса с действиями на станке

Таблица 10 — Рекомендуемые технические характеристики испытательного образца, используемые в цикле испытаний револьверных штамповочных прессов

Свойство	Значение
Испытуемый материал	SPCC [5], DC01 [6], 1,033 [7]
Толщина листа	1 или 2 мм
Размер листа	1000 × 1000 мм
Схема	Схема в соответствии с рисунком 14
Форма выреза	Круглая форма 30 мм
Количество обработанных отверстий	144
Шаг (*X*, *Y* в шахматном порядке)	50 мм



S — первый вырез (начало цикла); E — последний вырез (конец цикла)

Рисунок 14 — Схема обработки для револьверных штамповочных прессов

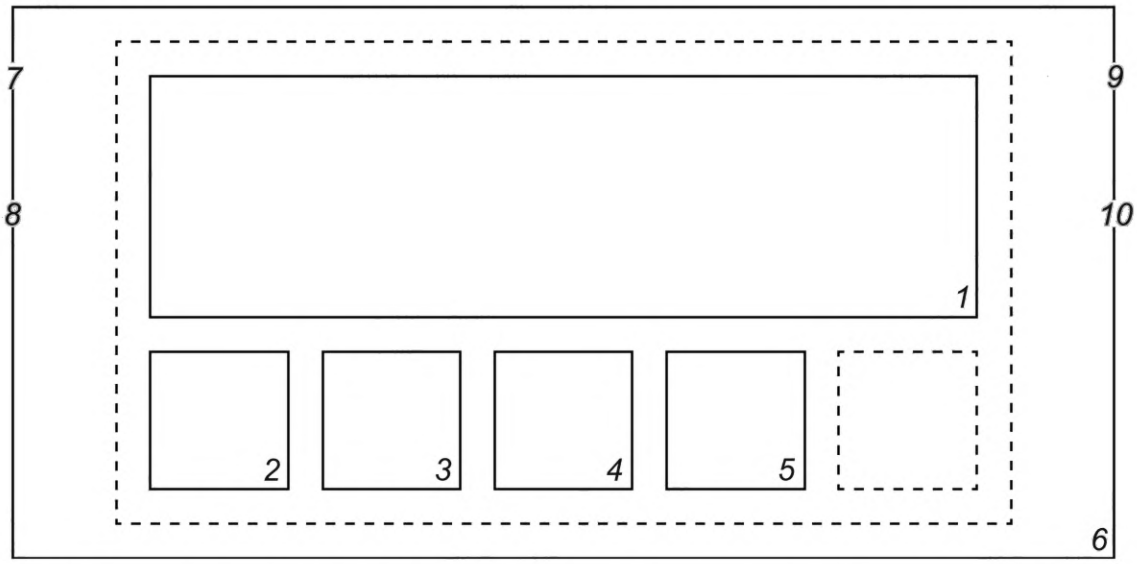
5.6 Энергия, подаваемая на станки для лазерной обработки

5.6.1 Общие положения

Пример станка для лазерной обработки приведен в приложении Е.

5.6.2 Границы системы

Поток энергии на границе системы во время пробного запуска должен быть максимально приближен к потоку энергии на границе системы во время производства (см. рисунок 15).



1 — станок; *2* — компонент станка A, например рама; *3* — компонент станка B, например генератор; *4* — компонент станка C, например охладитель; *5* — компоненты станка; *6* — граница системы; *7* — электрическая энергия; *8* — сжатый воздух; *9* — теплообмен; *10* — режущий газ

Рисунок 15 — Граница системы станков для лазерной обработки

5.6.3 Режим смены

Поскольку режимы смены зависят от оборудования (например, блока ЧПУ, устройства загрузки и выгрузки листов) и, следовательно, могут отличаться для каждого станка и пользователя станка, для измерения может быть установлен заданный режим смены в соответствии с ИСО 14955-2:2018, 5.2.2. Необходимо указать режим смены и групповой режим смены.

5.6.4 Минимальный период измерения

Период измерения по умолчанию равен периоду наблюдения. На основании результатов наблюдения во время измерения период измерения может быть сокращен, а подаваемая энергия должна быть экстраполирована для соответствия заданному режиму смены. Должна быть указана причина сокращения. Типовыми причинами сокращения времени являются повторяющиеся изменения или стабилизация подачи электроэнергии через некоторое время.

В заданном режиме смены периоды измерения для каждого режима работы в стабильных условиях должны, как минимум, соответствовать приведенным в таблице 11.

Таблица 11 — Минимальные периоды измерений в заданном режиме смены

Режим работы	Период измерения
1: «Выключено»	5 мин
2: «Главный выключатель включен»	5 мин
3: «Вспомогательные приводы включены» (прогрев генератора)	15 мин
4: «Главные приводы включены»	10 мин
5: «Готов к работе в режиме обработки»	10 мин
6: «Обработка»	10 мин и пять пробных образцов

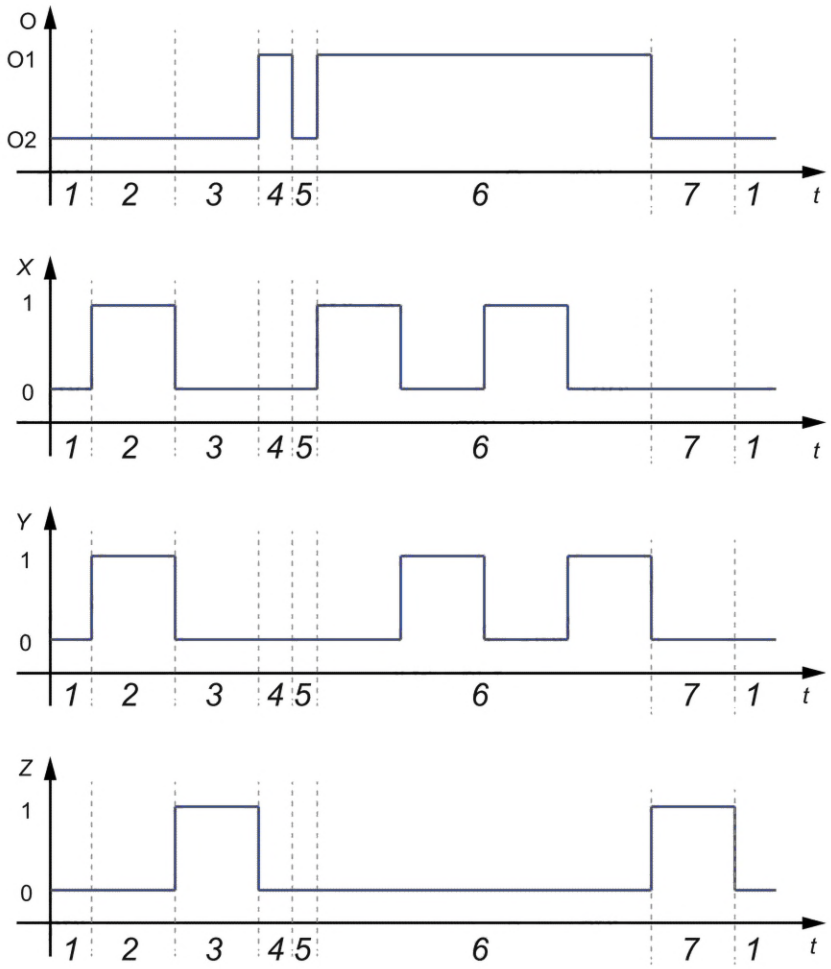
Время измерения в режиме работы «Обработка» должно составлять не менее 10 мин. Если за это время обработано менее пяти образцов, измерение следует продолжать до тех пор, пока пять образцов не будут обработаны полностью.

Охладитель включается и выключается в зависимости от температуры охлаждающей жидкости для охлаждения генератора. Для измерения средней мощности охладителя необходимо измерить по крайней мере пять циклов охлаждения или более. Если это значение меньше, обработку следует продолжать до достижения пяти циклов охлаждения или более.

В режиме работе «Обработка» измерения должны быть выполнены на обрабатывающем станке. Если общее время перерыва (например, из-за неисправности) при измерениях превышает 10 % от запланированного времени измерения, требуется повторное проведение измерений. Если общее время перерыва менее или равно 10 % от запланированного времени измерения, период измерения должен быть продлен.

5.6.5 Эталонный и испытательный циклы для станков с лазерной обработкой в режиме работы «Обработка»

На рисунке 16 показаны типовые диаграммы эталонного и испытательного циклов для станков с лазерной обработкой.



1 — действие на станке 1: «Режим ожидания».
2 — действие на станке 2: позиционирование по осям *X* и *Y*. Обрабатывающую головку устанавливают горизонтально в положение начала обработки.
3 — действие на станке 3: опускание по оси *Z*. Обрабатывающую головку опускают в положение обработки над заготовкой.
4 — действие на станке 4: проникание. Создание лазерным лучом отверстия в начальной позиции резки.
5 — действие на станке 5: переключение режима на резку. Переключение режима генератора и подачи газа перед резкой.
6 — действие на станке 6: резка. Лазерный луч перемещается по запрограммированной траектории по осям *X* и *Y*.
7 — действие на станке 7: возврат по оси *Z*. Обрабатывающая головка перемещается вверх.
O — генератор; O1 — генератор в работе; O2 — генератор в режиме ожидания; *t* — время; X — ось *X* активна; Y — ось *Y* активна; Z — ось *Z* активна

Рисунок 16 — Типовая диаграмма цикла станка с лазерной обработкой с действиями на станке

Скорости подачи по осям *X*, *Y* и *Z*, а также выходная мощность лазера должны быть установлены на максимальном уровне, соответствующем техническим характеристикам станка.

Рекомендуемые технические характеристики испытательного образца, используемые при измерении, приведены в таблице 12, а заданные значения для цикла испытаний — в таблице 13. Если технические характеристики не соблюдены, необходимо задокументировать заданные значения и другие соответствующие данные [см. раздел 6, перечисления d) и j)].

Таблица 12 — Рекомендуемые технические характеристики испытательного образца, используемые в цикле испытаний станков с лазерной обработкой

Материал/процесс	Параметр	Настройка
Испытуемый материал	Тип	SPCC [5], DC01 [6], 1,033 [7]
Толщина листа — ≤3,2 мм	Толщина листа	≥30 % от максимальной толщины среза, или 1,0 мм, или 1,2 мм
	Схема	Схема (a)
	Форма выреза	Квадрат 20 мм
	Количество обработанных отверстий	80
	Резка по периметру	880 × 530 мм
Толщина листа — >3,2 мм	Толщина листа	≥30 % от максимальной толщины среза
	Схема	Схема (b)
	Форма выреза	Круг 30 мм
	Количество обработанных отверстий	18
	Резка по периметру	380 × 380 мм
Шаг (*X*, *Y* в шахматном порядке)		50 мм

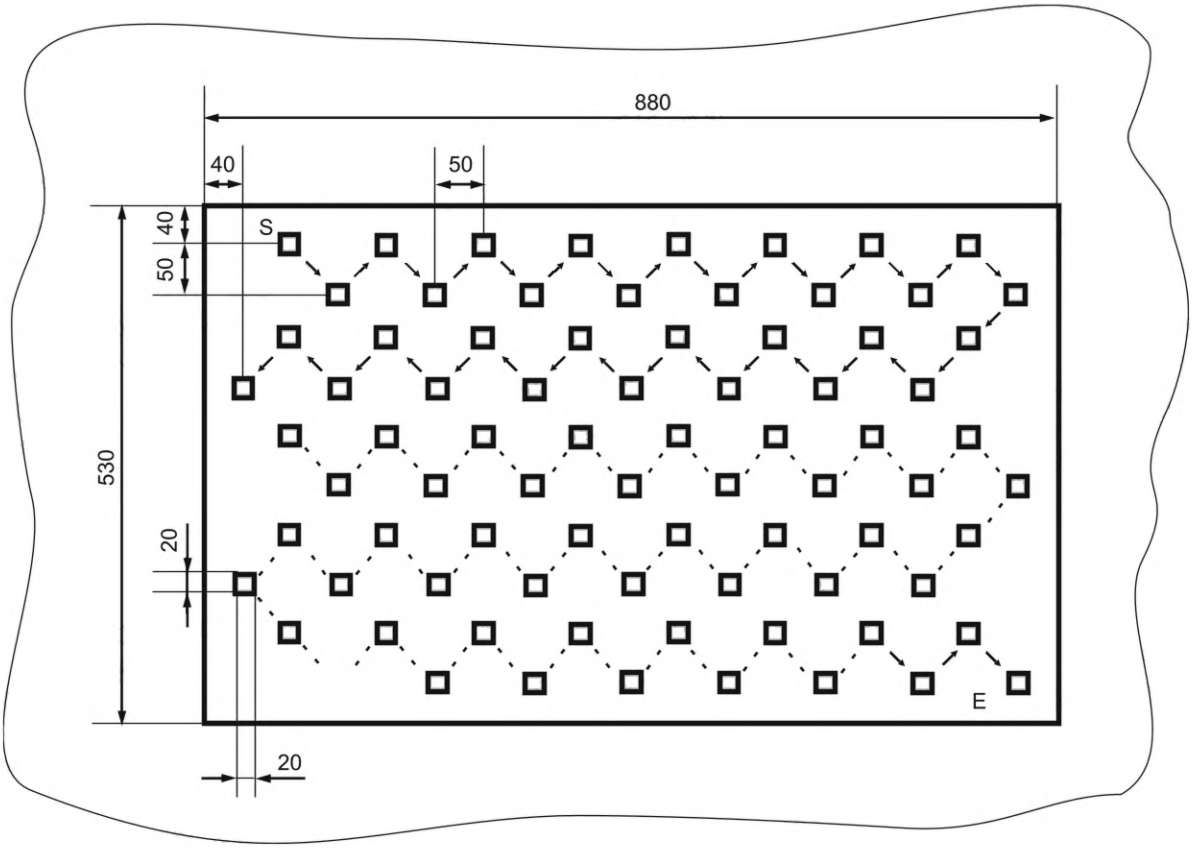
Таблица 13 — Заданные значения испытательного цикла станков для лазерной обработки, которые будут задокументированы

Заданное значение			Единица
Генератор	Проникание	Мощность	кВт
		Нагрузка	%
	Резка	Мощность	кВт
		Нагрузка	%
Скорость резания			м/мин
Траектория движения инструмента			
Время обработки одного пробного образца			с

Программу ЧПУ следует сохранить для последующего повторения процедуры испытания, а траекторию движения инструмента — задокументировать.

Примечание — Траектория движения инструмента для резки одинаковой формы, т. е. трехмерная (*X*, *Y*, *Z*) траектория движения лазерной обрабатывающей головки, возможна несколькими способами. Поэтому схемы на рисунках 17 и 18 не могут определять траекторию движения инструмента из-за влияния программы ЧПУ и технических характеристик управления.

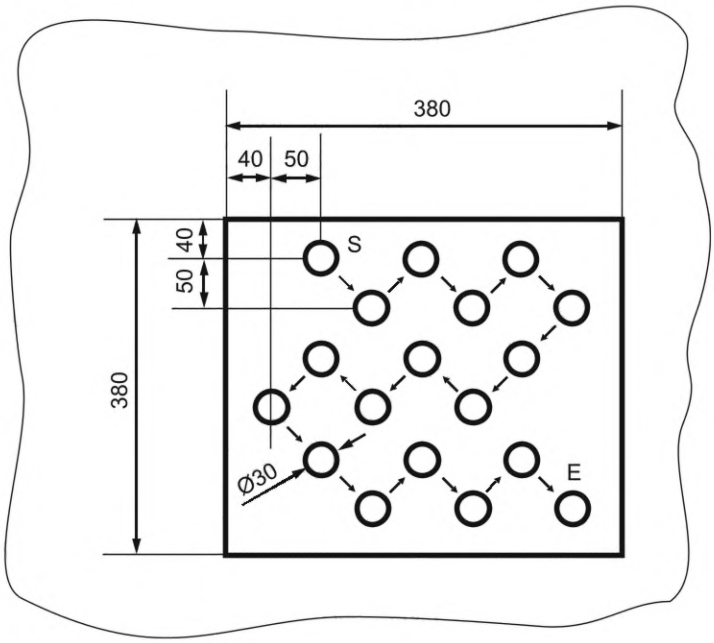
На рисунке 17 приведена схема обработки a) для станков с лазерной обработкой.



S — первый рез (начало цикла); E — последний рез перед резкой по периметру

Рисунок 17 — Схема обработки a)

На рисунке 18 приведена схема обработки b) для станков с лазерной обработкой.



S — первый рез (начало цикла); E — последний рез перед резкой по периметру

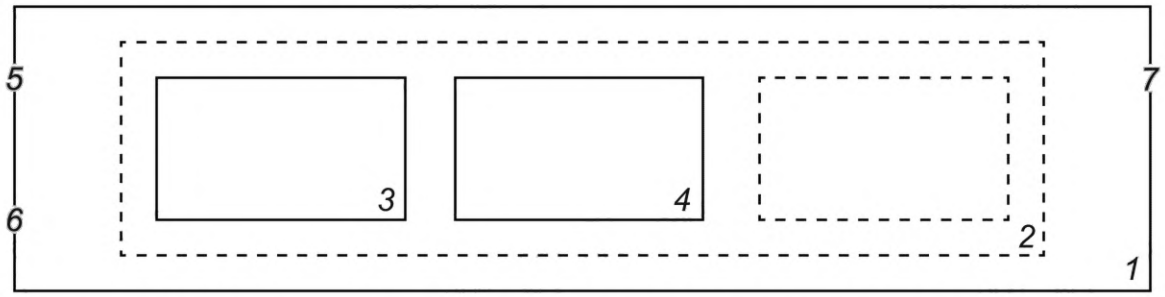
Рисунок 18 — Схема обработки b)

5.7 Энергия, подаваемая на вспомогательные устройства

5.7.1 Граница системы

Для учета широкого спектра вспомогательных устройств границы системы этих устройств должны быть определены в соответствии с конкретным устройством, а измерения — выполнены либо одновременно, либо синхронно с измерениями на станке. Граница системы для каждого вспомогательного устройства, используемого на станке или являющегося его неотъемлемой частью, должна быть задокументирована (см. рисунок 19).

Примечание — Вспомогательные устройства, используемые в режиме работы «Обработка», в основном представляют собой системы автоматизации для перемещения заготовок. На сегодняшний день такими системами автоматизации обычно являются роботы, захватные транспортеры, системы подачи или ковочные манипуляторы. Тип используемой системы автоматизации зависит от производимых заготовок.



1 — граница системы; *2* — вспомогательное устройство станка; *3* — ось *A*; *4* — ось *B*; *5* — электрическая энергия; *6* — сжатый воздух; *7* — теплообмен

Рисунок 19 — Граница системы вспомогательного устройства станка

Чтобы избежать чрезмерной сложности измерений, для вспомогательных устройств достаточно измерения на границе системы. Подаваемая энергия должна суммироваться с энергией, потребляемой другими компонентами станка.

5.7.2 Режим смены

Поскольку вспомогательные устройства связаны со станком, режим смены этих устройств соответствует режиму смены станка.

5.7.3 Измерение пневматической энергии и теплообмена

Методы измерения пневматической энергии и теплообменника должны соответствовать ИСО 14955-2:2018, приложение В.

6 Отчетность

Отчет об измерениях должен содержать следующие данные и информацию:

a) технические характеристики станка:
   1) производитель,
   2) тип станка,
   3) серийный номер,
   4) год выпуска,
   5) механические детали (например, размеры ползуна, максимальная масса штампа),
   6) номинальная электрическая мощность, мощность главного(ых) привода(ов), мощность вспомогательного(ых) привода(ов),
   7) номинальное пневматическое давление и расход, и
   8) тип рабочей жидкости;

b) технические характеристики вспомогательных устройств:
   1) номинальная электрическая мощность, и
   2) номинальное пневматическое давление и расход;

c) условия окружающей среды во время измерения;

d) спецификация испытуемого образца (если испытуемый образец обрабатывается во время пробного запуска) или указание на то, что во время пробного запуска не обрабатывается ни один испытуемый образец;

e) режим смены и групповой режим смены;

f) границы системы станка;

g) границы системы вспомогательных устройств;

h) список точек измерения;

i) технические характеристики измерительных устройств (например, марка, погрешность измерения);

j) испытательный цикл, включающий все настройки, относящиеся к энергопотреблению, в режиме работы «Обработка»;

k) испытательный цикл станка, включающий все настройки, относящиеся к энергопотреблению, в режиме работы «Смена инструмента»;

l) испытательный цикл вспомогательных устройств, включающий все настройки, относящиеся к энергопотреблению, в режиме работы «Обработка»;

m) количество циклов, выполненных в непрерывном режиме;

n) результаты измерений, относящиеся к режимам работы и действиям на станке, включая энергии, подаваемые на границе систем станка;

o) результаты измерений, относящиеся к режимам работы, включая энергии, подаваемые на границе системы вспомогательного устройства (например, системы автоматизации, подвижной опоры);

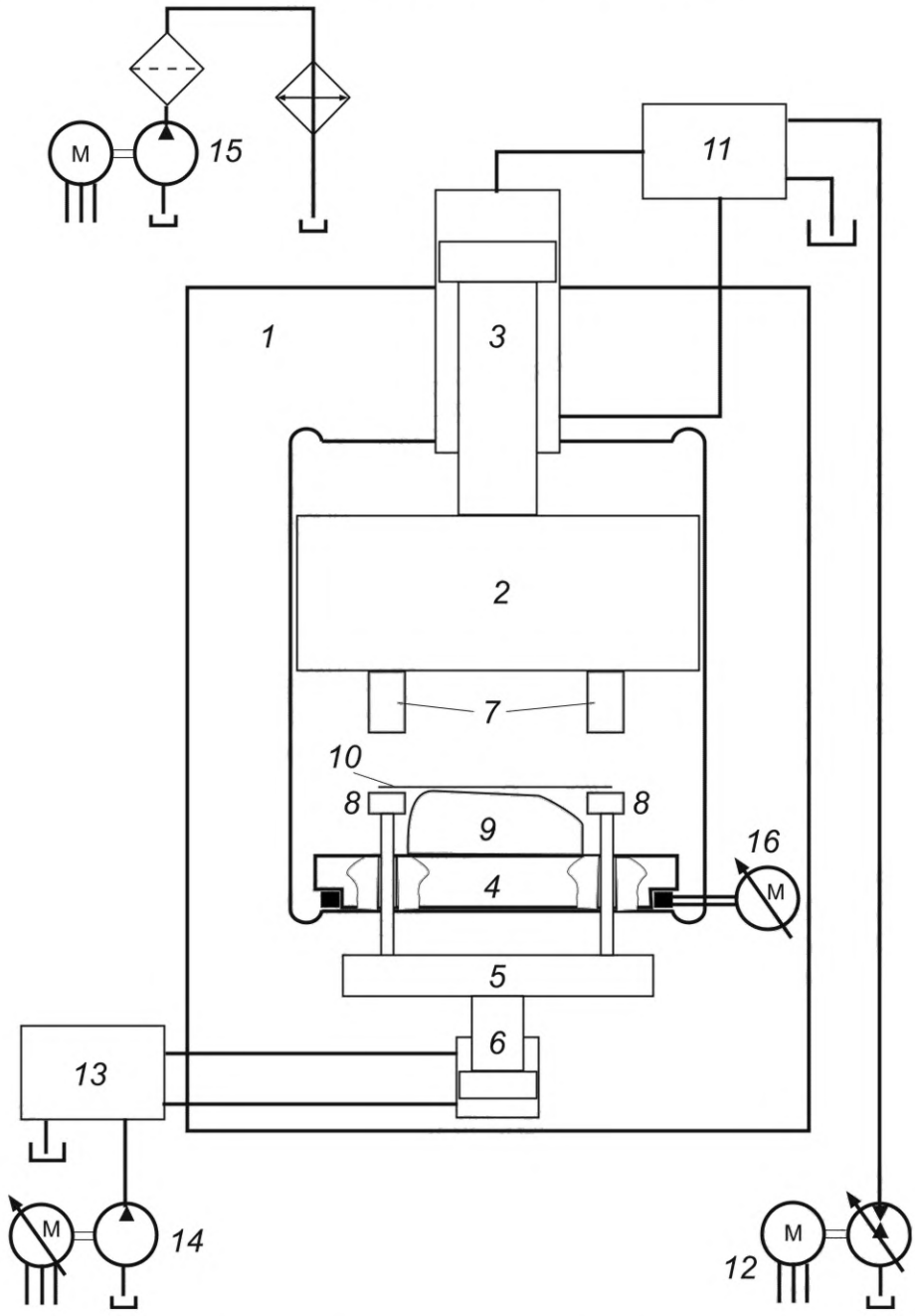
p) результат измерений в циклах работы станка на общую подаваемую энергию.

Приложение А
(справочное)

Гидравлические прессы

А.1 Пример гидравлического пресса с понижающим ходом (пресса двойного действия)

На рисунке А.1 показан пример гидравлического пресса двойного действия.



1 — станина; *2* — ползун; *3* — главный цилиндр; *4* — подвижная опора; *5* — матрица штампа; *6* — цилиндр матрицы штампа; *7* — верхний штамп; *8* — прижимное кольцо; *9* — нижний штамп; *10* — заготовка; *11* — поршень гидравлического коллектора; *12* — привод главного насоса; *13* — матрица штампа гидравлического коллектора; *14* — привод(ы) вспомогательного насоса; *15* — привод охладителя; *16* — привод подвижной опоры

Рисунок А.1 — Пример гидравлического пресса двойного действия

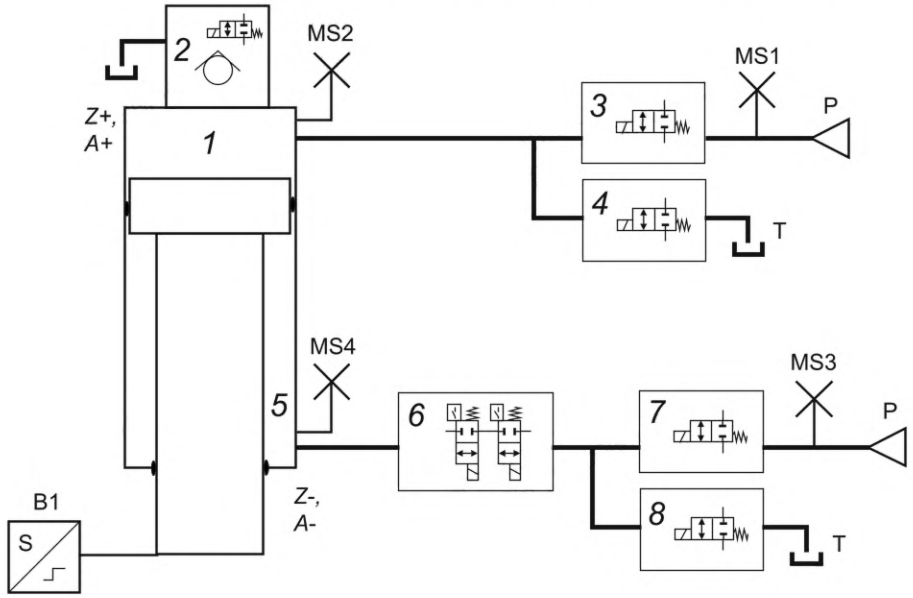
А.2 Измерение мощности

А.2.1 Измерение мощности на ползуне

А.2.1.1 Гидравлические прессы

А.2.1.1.1 Общие сведения

Пример гидравлического поршня для гидравлического пресса приведен на рисунке А.2.



1 — глухой конец поршня цилиндра; *2* — предварительная заливка; *3* — управляющий блок глухого конца; *4* — блок декомпрессии; *5* — шток главного цилиндра; *6* — предохранительный блок пресса; *7* — управляющий блок возврата поршня; *8* — управляющий блок опускания поршня; *Z+* — отверстие со стороны глухого конца цилиндра; *Z−* — отверстие со стороны штока цилиндра; *A+* — площадь глухого конца цилиндра; *A−* — площадь штока поршня цилиндра; P — подключение к источнику давления; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения

Рисунок А.2 — Пример гидравлического привода поршня для пресса с понижающим ходом

Поток может быть рассчитан по следующим формулам:

$$Q = v \cdot A, \tag{А.1}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \tag{А.2}$$

где Q — поток, поступающий в цилиндр/выходящий из него, м^3/с;

A — площадь цилиндра ($A+$, $A-$), м^2;

v — скорость поршня, м/с;

Δs — расстояние, пройденное за время интервала измерения, заданное датчиком положения B1, м;

Δt — интервал измерения, с.

Приведенные ниже формулы предназначены для расчета мощности, прилагаемой к компоненту станка, и коэффициента энергоэффективности, связанного с этим компонентом станка в цикле прессования. Мощность, затрачиваемая на преодоление трения уплотнения и направляющей, является частью мощности, прилагаемой к поршню цилиндра.

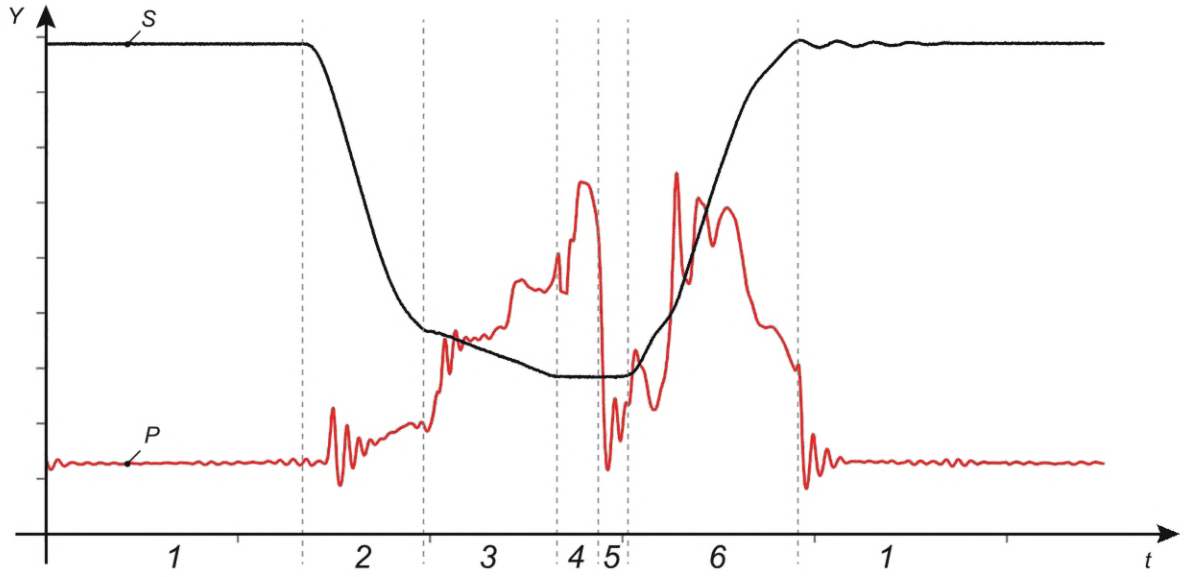
Пример типовой мощности поршня в цикле работы гидравлического пресса приведен на рисунке А.3.

А.2.1.1.2 Мощность во время покоя в верхней мертвой точке (МТ, действие 1)

При выполнении этого действия на станке мощность не передается на поршень или от него. Измеренная мощность — мощность, необходимая для работы на холостом ходу, а коэффициент энергоэффективности равен нулю.

А.2.1.1.3 Мощность при опускании поршня (МТ, действия 2—4)

В данном расчете при опускании поршня учитывают измерение мощности при выполнении действия 2 (опускание поршня), 3 (формование) и 4 (штампование) на станке. Приведенные формулы применимы для всех трех видов действий на станке.



1 — действие на станке 1: мощность во время покоя в верхней мертвой точке.
2 — действие на станке 2: мощность во время опускания поршня.
3 — действие на станке 3: мощность во время формования.
4 — действие на станке 4: мощность во время штампования.
5 — действие на станке 5: мощность во время декомпрессии.
6 — действие на станке 6: мощность во время возврата поршня.

S — ход поршня; *t* — время; *P* — фактическая мощность; *Y* — мощность в зависимости от хода

Рисунок А.3 — Пример мощности поршня в цикле работы гидравлического пресса

Мощность, приложенную к поршню, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\text{SlTotalHeadDesc.}} = p_{\text{MS1}} \cdot A^{+} \cdot v_{\text{Desc.}}, \quad \text{(A.3)}$$

$$P_{\text{SlCylHeadDesc.}} = p_{\text{MS2}} \cdot A^{+} \cdot v_{\text{Desc.}}, \quad \text{(A.4)}$$

$$P_{\text{SlCylShaftDesc.}} = p_{\text{MS4}} \cdot A^{-} \cdot v_{\text{Desc.}}, \quad \text{(A.5)}$$

где $P_{\text{SlTotalHeadDesc.}}$ — общая мощность, подаваемая к системе на глухом конце поршня, Вт;
$P_{\text{SlCylHeadDesc.}}$ — общая мощность, подаваемая к глухому концу поршня цилиндра, Вт;
$P_{\text{SlCylShaftDesc.}}$ — общая мощность, подаваемая на шток поршня цилиндра, Вт;
p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;
A^{+} — площадь глухого конца цилиндра, м^2;
A^{-} — площадь штока поршня цилиндра, м^2;
$v_{\text{Desc.}}$ — фактическая скорость поршня при опускании (*Y2* в таблице 2), м/с.

$P_{\text{SlCylShaftDesc.}}$ — это потеря мощности на штоке поршня. Если для стороны штока поршня предусмотрена рекуперация энергии, выходная мощность системы рекуперации энергии может быть вычтена из $P_{\text{SlCylShaftDesc}}$. Необходимая мощность для перемещения матрицы штампа во время формования генерируется поршнем, а часть измеренной мощности подается на глухой конец.

Общую потерю мощности при опускании поршня рассчитывают по формуле

$$P_{\text{SlPwrLossDesc.}} = P_{\text{SlTotalHeadDesc.}} + P_{\text{SlCylShaftDesc.}} + P_{\text{SlShaftDescRecov.}} + P_{\text{CuTotalHeadDisp.}}, \quad \text{(A.6)}$$

где $P_{\text{SlPwrLossDesc.}}$ — общая потеря мощности при опускании поршня, Вт;
$P_{\text{SlTotalHeadDesc.}}$ — общая мощность, подаваемая к системе на глухом конце поршня, Вт;
$P_{\text{SlCylShaftDesc.}}$ — общая мощность, подаваемая на шток поршня цилиндра, Вт;
$P_{\text{SlShaftDescRecov.}}$ — общая мощность, получаемая от штока поршня во время опускания, Вт;
$P_{\text{CuTotalHeadDisp.}}$ — общая мощность, приложенная к матрице глухого конца цилиндра во время перемещения, Вт (см. также А.2.2).

А.2.1.1.4 Мощность при декомпрессии (МТ, действие 5)

Энергия, высвобождаемая при декомпрессии, перенесена на поршень во время штампования (МТ действие 4). Среднюю восстанавливаемую мощность рассчитывают по формуле

$$P_{\mathrm{SlCylDecomp.}} = \frac{\left[\left(p_{0_\mathrm{MS2}}^2 - p_{1_\mathrm{MS2}}^2\right)\cdot V^+ + \left(p_{0_\mathrm{MS4}}^2 - p_{1_\mathrm{MS4}}^2\right)\cdot V^-\right]\cdot \beta}{2t_{\mathrm{Decomp.}}}, \quad (\mathrm{A.7})$$

где $P_{\mathrm{SlCylDecomp.}}$ — мощность, генерируемая на поршне во время декомпрессии, Вт;

p_{0_MS2} — давление перед декомпрессией в поршне в глухом конце цилиндра, Па;

p_{1_MS2} — давление после декомпрессии в поршне в глухом конце цилиндра, Па;

p_{0_MS4} — давление перед декомпрессией в штоке поршня цилиндра, Па;

p_{1_MS4} — давление после декомпрессии в штоке поршня цилиндра, Па;

$t_{\mathrm{Decomp.}}$ — время декомпрессии, с;

V^+ — объем масла в поршне цилиндра в глухом конце, м^3;

V^- — объем масла в штоке поршня цилиндра, м^3;

β — сжимаемость, 1/Па (например, для минерального масла $\beta = 7 \cdot 10^{-10}$ 1/Па).

Объем масла V должен также включать объем масла в трубах и коллекторах, давление которого изменяется во время декомпрессии.

Если для декомпрессии предусмотрена рекуперация энергии, то интегрированная мощность, измеренная на выходе системы рекуперации, отражает количество рекуперированной энергии.

А.2.1.1.5 Мощность при возврате поршня (МТ, действие 6)

Мощность, подаваемую на поршень, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\mathrm{SlTotalShaftRet.}} = p_{\mathrm{MS3}} \cdot A^- \cdot v_{\mathrm{Return}}, \quad (\mathrm{A.8})$$

$$P_{\mathrm{SlCylShaftRet.}} = p_{\mathrm{MS4}} \cdot A^- \cdot v_{\mathrm{Return}}, \quad (\mathrm{A.9})$$

$$P_{\mathrm{SlCylHeadRet.}} = p_{\mathrm{MS2}} \cdot A^+ \cdot v_{\mathrm{Return}}, \quad (\mathrm{A.10})$$

$$P_{\mathrm{SlPwrLossRet.}} = P_{\mathrm{SlTotalHeadRet.}} + P_{\mathrm{SlTotalShaftRet.}}, \quad (\mathrm{A.11})$$

где $P_{\mathrm{SlTotalHeadRet.}}$ — общая мощность, подаваемая к системе на глухом конце поршня, Вт;

$P_{\mathrm{SlTotalShaftRet.}}$ — общая мощность, подаваемая на шток поршня, Вт;

$P_{\mathrm{SlCylShaftRet.}}$ — общая мощность, подаваемая на шток поршня цилиндра, Вт;

$P_{\mathrm{SlCylHeadRet.}}$ — общая мощность, подаваемая к глухому концу поршня цилиндра, Вт;

$P_{\mathrm{SlPwrLossRet.}}$ — общая потеря мощности при возврате поршня, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^+ — площадь глухого конца цилиндра, м^2;

A^- — площадь штока поршня цилиндра, м^2;

v_{Return} — фактическая скорость возврата поршня, м/с.

$P_{\mathrm{SlCylHeadRet.}}$ — потеря мощности в глухом конце поршня. Если для глухого конца поршня предусмотрена рекуперация энергии, выходная мощность системы рекуперации может быть вычтена из $P_{\mathrm{SlCylHeadRet.}}$.

Разница между $P_{\mathrm{SlTotalShaftRet.}}$ и $P_{\mathrm{SlCylShaftRet.}}$ является потерей мощности в коллекторе(ах) штока поршня во время возврата.

А.2.1.2 Гидравлические сервопрессы

А.2.1.2.1 Общие положения

Пример гидравлического поршня для гидравлического сервопресса приведен на рисунке А.4.

Поток может быть рассчитан в соответствии с формулами (А.1) и (А.2).

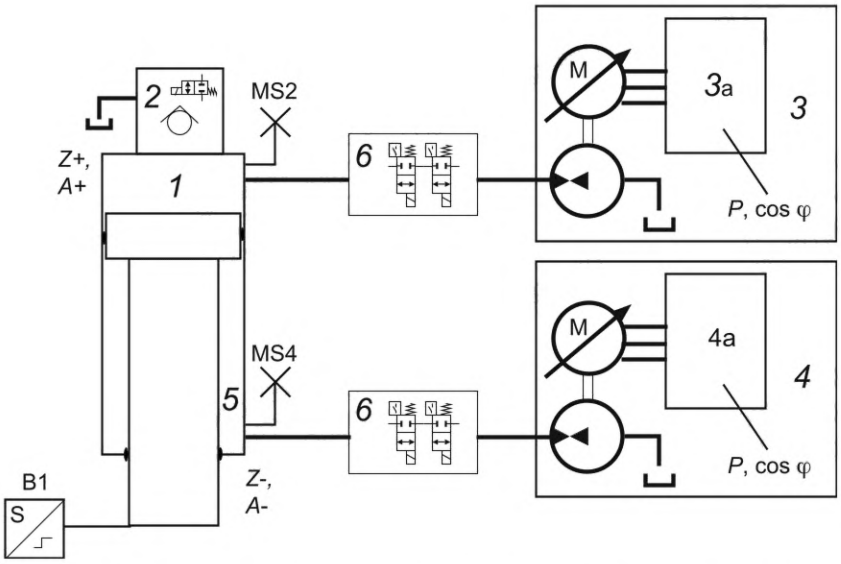
Следующие формулы предназначены для расчета мощности, подаваемой на компонент станка, и коэффициента энергоэффективности, связанного с этим компонентом станка в цикле прессования.

А.2.1.2.2 Мощность в режиме покоя в верхней мертвой точке (МТ, действие 1)

При этом действии станка питание на поршень или от него не передается. Измеренная мощность — мощность, необходимая для работы на холостом ходу, а коэффициент энергоэффективности равен нулю.

А.2.1.2.3 Мощность при опускании поршня (МТ, действия 2—4)

В данном расчете при опускании поршня учитывают измерение мощности при выполнении действия 2 (опускание поршня), 3 (формование) и 4 (штампование) на станке. Формулы (А.12) и (А.13) действительны для всех трех видов действий на станке.



1 — глухой конец поршня цилиндра; *2* — предварительная заливка; *3* — блок привода глухого конца; *3a* — инверторная система глухого конца; *4* — блок привода штока; *4a* — инверторная система штока; *5* — шток главного цилиндра; *6* — предохранительный блок пресса; *Z+* — отверстие со стороны глухого конца цилиндра; *Z−* — отверстие со стороны штока цилиндра; *A+* — площадь глухого конца цилиндра; *A−* — площадь штока поршня цилиндра; P — подключение к источнику давления; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения; *P*, cos *φ* — значения, измеренные с помощью инвертора

Рисунок А.4 — Пример гидравлического поршня для гидравлического сервопресса с понижающим ходом

Мощность, приложенную к поршню, рассчитывают следующим образом:

$$P_{\text{SlCylHeadDesc.}} = p_{\text{MS2}} \cdot A^{+} \cdot v, \tag{A.12}$$

$$P_{\text{SlCylShaftDesc.}} = p_{\text{MS4}} \cdot A^{-} \cdot v, \tag{A.13}$$

где $P_{\text{SlCylHeadDesc.}}$ — общая мощность, подаваемая к глухому концу поршня цилиндра, Вт;

$P_{\text{SlCylShaftDesc.}}$ — общая мощность, подаваемая на шток поршня цилиндра, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^{+} — площадь глухого конца цилиндра, м^2;

A^{-} — площадь штока поршня цилиндра, м^2;

$v_{\text{Desc.}}$ — фактическая скорость поршня, м/с.

$P_{\text{SlCylShaftDesc.}}$ — это потеря мощности на штоке поршня. Если для стороны штока поршня предусмотрена рекуперация энергии, выходная мощность системы рекуперации энергии может быть вычтена из $P_{\text{SlCylShaftDesc}}$. Необходимая мощность для перемещения матрицы штампа во время формования создается поршнем, и часть измеренной мощности подается на глухой конец.

Общую потерю мощности при опускании поршня рассчитывают по формуле

$$P_{\text{SlPwrLossDesc.}} = P_{\text{SlTotalHeadDesc.}} + P_{\text{SlTotalShaftDesc.}} - P_{\text{CuTotalHeadDisp.}}, \tag{A.14}$$

где $P_{\text{SlPwrLossDesc.}}$ — общая потеря электрической энергии при опускании поршня, Вт;

$P_{\text{SlTotalHeadDesc.}}$ — общая электрическая мощность, подаваемая инверторной системой на глухом конце поршня, Вт;

$P_{\text{SlTotalShaftDesc.}}$ — общая электрическая мощность, подаваемая инверторной системой на штоке поршня, Вт;

$P_{\text{CuTotalHeadDisp.}}$ — общая электрическая мощность, подаваемая инвертором матрицы на глухом конце при перемещении, Вт.

Примечание — Во время рекуперации энергии значение $P_{\text{SlTotalShaftDesc.}}$ должно быть отрицательным.

А.2.1.2.4 Мощность во время декомпрессии (MT, действие 5)

Энергия, выделяющаяся при декомпрессии, перенесена на поршень во время штампования (MT, действие 4). Среднюю восстанавливаемую мощность рассчитывают по формуле

$$P_{\text{SlCylDecomp.}} = \frac{\left(\left(p_{0_\text{MS2}}^2 - p_{1_\text{MS2}}^2\right) \cdot V^{+} + \left(p_{0_\text{MS4}}^2 - p_{1_\text{MS4}}^2\right) \cdot V^{-}\right) \cdot \beta}{2t_{\text{Decomp.}}}, \tag{A.15}$$

где $P_{\text{SlCylDecomp.}}$ — мощность, генерируемая поршнем во время декомпрессии, Вт;

p_{0_MS2} — давление перед декомпрессией в поршне на глухом конце цилиндра, Па;
p_{1_MS2} — давление после декомпрессии в поршне на глухом конце цилиндра, Па;
p_{0_MS4} — давление перед декомпрессией в штоке поршня цилиндра, Па;
p_{1_MS4} — давление после декомпрессии в штоке поршня цилиндра, Па;
$t_{Decomp.}$ — время декомпрессии, с;
V^+ — объем масла в поршне цилиндра в глухом конце, м^3;
V^- — объем масла в штоке поршня цилиндра, м^3;
β — сжимаемость, 1/Па (например, для минерального масла $\beta = 7 \cdot 10^{-10}$ 1/Па).

Объем масла V должен также включать объем масла в трубах и коллекторах, давление которого изменяется во время декомпрессии.

Если для декомпрессии предусмотрена рекуперация энергии, то интегрированная мощность, измеренная на выходе системы рекуперации, отражает количество рекуперированной энергии.

А.2.1.2.5 Мощность при возврате поршня (MT, действие 6)

Мощность, подаваемую на поршень, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{SlCylShaftRet.} = p_{MS4} \cdot A^- \cdot v_{Return}, \quad (A.16)$$

$$P_{SlCylHeadRet.} = p_{MS2} \cdot A^+ \cdot v_{Return}, \quad (A.17)$$

$$P_{SlPwrLossRet.} = P_{SlTotalHeadRet.} + P_{SlTotalShaftRet.}, \quad (A.18)$$

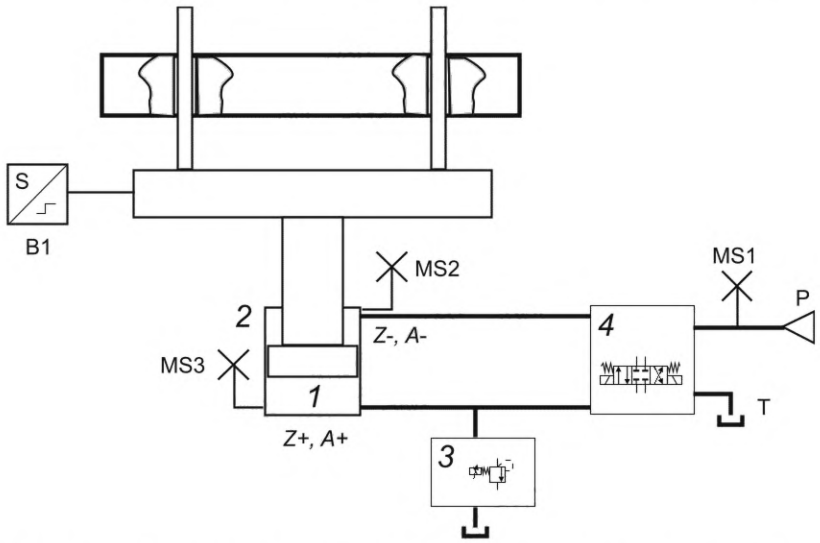
где $P_{SlCylShaftRet.}$ — общая гидравлическая мощность, подаваемая на шток поршня цилиндра, Вт;
$P_{SlCylHeadRet.}$ — общая гидравлическая мощность, подаваемая инверторной системой на глухой конец, Вт;
$P_{SlPwrLossRet.}$ — общая потеря электрической энергии при возврате поршня, Вт;
$P_{SlTotalHeadRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая инверторной системой на глухой конец, Вт;
$P_{SlTotalShaftRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая инверторной системой на шток поршня, Вт;
p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;
A^+ — площадь глухого конца цилиндра, м^2;
A^- — площадь штока поршня цилиндра, м^2;
v_{Return} — фактическая скорость возврата поршня (*Y*6 в таблице 2), м/с.

Разница между $P_{SlTotalShaftRet.}$ и $P_{SlCylShaftRet.}$ заключается в потере мощности в системе штока поршня во время его возврата. Разница между $P_{SlCylHeadRet.}$ и $P_{SlTotalHeadRet.}$ заключается в потере мощности в системе на глухом конце при возврате штока поршня.

А.2.2 Измерение мощности на матрице штампа

А.2.2.1 Матрица штампа без рекуперации энергии

Пример гидравлической матрицы штампа без рекуперации энергии приведен на рисунке А.5.



1 — матрица штампа на глухом конце цилиндра; *2* — матрица штампа на штоке цилиндра; *3* — блок управления давлением; *4* — блок извлечения/втягивания; Z+ — отверстие со стороны матрицы штампа на глухом конце цилиндра; Z− — отверстие со стороны матрицы штампа на штоке цилиндра; *A*+ — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра; *A*− — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра; P — подключение к источнику давления; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения

Рисунок А.5 — Пример гидравлической матрицы штампа без рекуперации энергии

Поток может быть рассчитан по формулам (А.1) и (А.2).

Мощность матрицы штампа может быть измерена в течение всего цикла прессования, а не только во время перемещения матрицы штампа. Мощность матрицы штампа, находящейся в своем конечном положении, равна нулю из-за того, что скорость равна нулю.

Во время формования (МТ, действие 3) матрица штампа перемещается с помощью поршня, создавая его усилие.

Потери мощности рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\text{CuTotalHeadDisp.}} = p_{\text{MS3}} \cdot A^{+} \cdot v, \tag{A.19}$$

$$P_{\text{CuTotalShaftDisp.}} = p_{\text{MS1}} \cdot A^{-} \cdot v, \tag{A.20}$$

$$P_{\text{CuPowerLossDisp.}} = P_{\text{CuTotalHeadDisp.}} + P_{\text{CuTotalShaftDisp.}}, \tag{A.21}$$

где $P_{\text{CuTotalHeadDisp.}}$ — общая мощность, подаваемая на глухой конец при перемещении, Вт;

$P_{\text{CuTotalShaftDisp.}}$ — общая мощность, подаваемая на шток при перемещении, Вт;

$P_{\text{CuPowerLossDisp.}}$ — общая потеря мощности при перемещении, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^{+} — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра, м^2;

A^{-} — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость подачи матрицы штампа, м/с.

При возврате поршня (МТ, действие 6) матрица штампа поднимает обрабатываемую деталь (МТ, действие 6а).

Если регенеративный контур не предусмотрен, мощность, подаваемую на матрицу штампа, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\text{CuPwrLossLift}} = p_{\text{MS1}} \cdot A^{+} \cdot v + p_{\text{MS2}} \cdot A^{-} \cdot v. \tag{A.22}$$

Если регенеративный контур предусмотрен (*Z*+ гидравлически соединен с *Z*–), мощность, подаваемую на матрицу штампа, рассчитывают следующим образом:

$$P_{\text{CuPwrLossLift}} = p_{\text{MS1}} \cdot (A^{+} - v^{-}) \cdot v + (p_{\text{MS2}} - p_{\text{MS1}}) \cdot A^{-} \cdot v, \tag{A.23}$$

где $P_{\text{CuPwrLossLift}}$ — общая мощность, потерянная при подъеме матрицы штампа, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

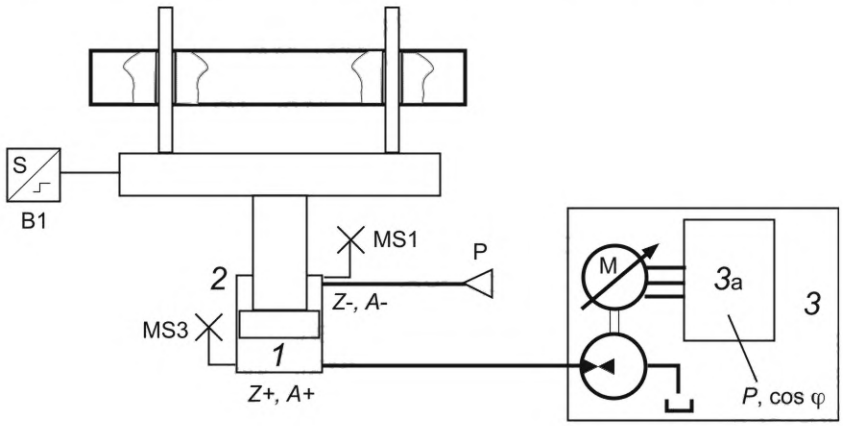
A^{+} — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра, м^2;

A^{-} — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость подачи матрицы штампа, м/с.

А.2.2.2 Матрица штампа с рекуперацией энергии

Пример гидравлической матрицы штампа с рекуперацией энергии приведен на рисунке А.6.



1 — матрица штампа на глухом конце цилиндра; *2* — матрица штампа на штоке цилиндра; *3* — система привода матрицы штампа; *3a* — блок привода инвертора матрицы штампа; Z+ — отверстие со стороны матрицы штампа на глухом конце цилиндра; Z− — отверстие со стороны матрицы штампа на штоке цилиндра; *A*+ — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра; *A*− — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра; P — подключение к источнику давления; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения; *P*, cos φ — значения, измеряемые преобразователем

Рисунок А.6 — Пример гидравлической матрицы штампа с рекуперацией энергии

Поток может быть рассчитан в соответствии с формулами (А.1) и (А.2).

Мощность матрицы штампа может быть измерена в течение всего цикла прессования, а не только во время ее перемещения. Мощность матрицы штампа, находящейся в своем конечном положении, равна нулю из-за того, что скорость равна нулю.

Во время формования (МТ действие 3) матрица штампа перемещается поршнем, создавая его усилие.

Потери мощности рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{CuTotalHeadDisp.} = p_{MS3} \cdot A^{+} \cdot v, \quad (A.24)$$

$$P_{CuTotalShaftDisp.} = p_{MS1} \cdot A^{-} \cdot v, \quad (A.25)$$

$$P_{CuPowerLossDisp.} = P_{CuTotalHeadDisp.} + P_{CuTotalShaftDisp.} - P_{CuRecoveryDisp.}, \quad (A.26)$$

где $P_{CuTotalHeadDisp.}$ — мощность, подаваемая на глухой конец при перемещении, Вт;

$P_{CuTotalShaftDisp.}$ — мощность, подаваемая на шток при перемещении, Вт;

$P_{CuPowerLossDisp.}$ — восстановленная мощность, измеренная в инверторной системе во время перемещения, Вт;

$P_{CuRecoveryDisp.}$ — потеря мощности при перемещении, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^{+} — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра, м^2;

A^{-} — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость подачи матрицы штампа, м/с.

При возврате поршня (МТ, действие 6) матрица штампа поднимает обрабатываемую заготовку (МТ, действие 6а). Мощность, подаваемую на матрицу штампа, можно измерить с помощью инверторной системы.

А.3 Формулы для расчета энергии для цикла гидравлического пресса (пресса с понижающим ходом)

А.3.1 Общие положения

Приведенные формулы являются примерами, применимыми для гидравлических прессов, приведенных в А.1, и других прессов с аналогичной функциональностью.

Они предназначены для расчета энергии, необходимой для изменения уровня потенциальной энергии в компоненте станка (например, для опускания и возврата поршня, зарядки и разрядки масляной пружины в гидравлическом цилиндре), и коэффициента энергоэффективности для работы станка в соответствии с типовой диаграммой пресса (см. 5.2.5). Эти значения могут быть использованы для определения $W_{MTActivity}$ при расчете энергии в соответствии с ИСО 14955-2.

В эти примеры не включены формулы для компонентов вспомогательных устройств (например, автоматизированных систем). Приведенные формулы могут быть использованы для расчета требуемой энергии для компонентов с аналогичными физическими принципами.

А.3.2 Действие на станке 1: поршень ожидает сигнала запуска в верхней мертвой точке, пока штамп загружается

Вследствие того, что ни поршень, ни матрица штампа не двигаются, энергия не передается ни на поршень, ни на матрицу штампа. Коэффициенты энергоэффективности компонентов пресса равны нулю.

А.3.3 Действие на станке 2: опускание поршня

Опускание поршня осуществляется под действием силы тяжести. Движение поршня регулируется потоком жидкости из нижнего цилиндра.

Возникающую потенциальную энергию рассчитывают по формуле

$$W_{SlClose} = F_{MovingWeight} \cdot s_{SlClose}, \quad (A.27)$$

где $W_{SlClose}$ — возникающая потенциальная энергия, Дж;

$F_{MovingWeight}$ — усилие, создаваемое весом движущихся частей, Н;

$s_{SlClose}$ — расстояние, пройденное поршнем между верхней мертвой точкой и контактом с материалом, м.

Коэффициент энергоэффективности при данном действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{SlClose} = \frac{W_{SlClose}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (A.28)$$

где $\eta_{SlClose}$ — коэффициент энергоэффективности при опускании поршня [1];

$W_{SlClose}$ — возникающая потенциальная энергия, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при данном действии на станке, Дж.

Примечание — В части «Опускание поршня» для пресса с рабочим ходом наверх см. «Возврат поршня».

А.3.4 Действие на станке 3: формование

Заготовка формируется поршнем и удерживается матрицей штампа, которая работает как держатель заготовки. Требуемое усилие поршня (в основном, дополнительное усилие матрицы штампа и усилие, необходимое для формования заготовки) создается давлением жидкости.

Подаваемую энергию рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{Forming} = F_{Forming} \cdot s_{Forming}, \quad (A.29)$$

$$F_{Forming} = F_{Workpiece} + F_{DieCushion}, \quad (A.30)$$

где $W_{Forming}$ — энергия, подаваемая при формовании, Дж;

$F_{Forming}$ — среднее усилие поршня при формовании, Н;

$s_{Forming}$ — расстояние, пройденное поршнем между контактом с материалом и нижней мертвой точкой, м;

$F_{Workpiece}$ — среднее усилие, прилагаемое к заготовке, Н;

$F_{DieCushion}$ — среднее усилие, прилагаемое к матрице штампа, Н.

Если во время процедуры испытания не используется заготовка, усилие, прилагаемое к заготовке, равно нулю, и значение $F_{Workpiece} = 0$.

Коэффициент энергоэффективности при данном действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Forming} = \frac{W_{Forming}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (A.31)$$

где $\eta_{Forming}$ — коэффициент энергоэффективности при формовании [1];

$W_{Forming}$ — энергия, подаваемая при формовании, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при данном действии на станке, Дж.

Если во время формования не предусмотрена рекуперация энергии (например, рекуперация энергии на матрице штампа), то $W_{Forming}$ преобразуется в тепло.

А.3.5 Действие на станке 4: штампование

Во время штампования прикладывается запрограммированное усилие поршня в течение времени выдержки в нижней мертвой точке, запрограммированного в данных штампа. Ход поршня близок к нулю, но удлинение рамы пресса и сжатие гидравлической пружины влияют на подаваемую энергию.

Подаваемую энергию рассчитывают по формуле

$$W_{Embossing} = F_{Slide}\left(\frac{s_{Elongation} + s_{Compression}}{2}\right), \quad (A.32)$$

где $W_{Embossing}$ — энергия, подаваемая при штамповании, Дж;

F_{Slide} — запрограммированное значение усилия поршня, Н;

$s_{Elongation}$ — удлинение рамы, м;

$s_{Compression}$ — расчетный путь сжатия (масляной пружины), м.

Коэффициент энергоэффективности при данном действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Embossing} = \frac{W_{Embossing}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (A.33)$$

где $\eta_{Embossing}$ — коэффициент энергоэффективности при штамповании [1];

$W_{Embossing}$ — энергия, подаваемая при штамповании, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при данном действии на станке, Дж.

А.3.6 Действие на станке 5: декомпрессия

На этом этапе происходит декомпрессия поршня, матриц(ы) штампа и рамы пресса. В конце процесса штампования возникающая энергия равна энергии штампа. При отсутствии средств для регенерации эта энергия преобразуется в тепло.

При декомпрессии подпружиненных штампов и матриц штампа энергия, высвобождаемая из матрицы штампа, может быть восстановлена.

А.3.7 Действие на станке 6: возврат поршня

Поршень возвращается в верхнюю мертвую точку под действием гидравлической жидкости. Система противовесов снижает расход энергии.

Подаваемую энергию рассчитывают по формуле

$$W_{SlideReturn} = (F_{MovingWeight} - F_{Counterbalance}) \cdot s_{SlideReturn}, \quad (A.34)$$

где $W_{SlideReturn}$ — энергия, подаваемая при возврате поршня, Дж;

$F_{MovingWeight}$ — усилие, создаваемое весом движущихся частей, Н;
$F_{Counterbalance}$ — среднее усилие, создаваемое системой противовеса, Н;
$s_{SlideReturn}$ — расстояние, пройденное поршнем между верхней мертвой точкой и нижней мертвой точкой, м.

Коэффициент энергоэффективности при данном действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{SlideReturn} = \frac{W_{SlideReturn}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (A.35)$$

где $\eta_{SlideReturn}$ — коэффициент энергоэффективности при возврате поршня [1];
$W_{SlideReturn}$ — энергия, подаваемая при возврате поршня, Дж;
$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при данном действии на станке, Дж.

Примечание — В части «Возврат поршня» для пресса с рабочим ходом наверх см. «Опускание поршня».

А.3.8 Действие на станке 6a: извлечение заготовки

При возврате поршня заготовка выталкивается матрицей(ами) штампа.

Энергию, необходимую для подъема заготовки (на всех типах прессов), рассчитывают по формуле

$$W_{Ejection} = F_{MovingWeightDieCushion} \cdot s_{Forming}, \quad (A.36)$$

где $W_{Ejection}$ — энергия, подаваемая при извлечении заготовки, Дж;
$F_{MovingWeightDieCushion}$ — усилие, создаваемое весом движущихся частей, Н;
$s_{Forming}$ — расстояние, пройденное поршнем между нижней мертвой точкой и контактом с материалом, м.

А.4 Количественное функциональное отображение для гидравлического пресса двойного действия

Пример функционального отображения для гидравлического пресса двойного действия приведен в таблице А.1.

Таблица А.1 — Пример количественного функционального отображения

		Функции станка					
		Действия на станке (механическая обработка, технологические процессы, перемещение и управление)	Процесс кондиционирования	Обработка заготовок	Смена инструмента	Материалы для вторичной переработки и обращения с отходами	Охлаждение/смазка станка
Компоненты станка	Компоненты управления[a]	55 %	4 %	30 %	5 %	1 %	5 %
	Привод(ы) главного насоса(ов)	80 %			20 %		
	Привод(ы) вспомогательного насоса(ов)	80 %	5 %		15 %		
	Привод(ы) охлаждающего(их) насоса(ов)						100 %
	Поршень	95 %			5 %		
	Матрица штампа	95 %			5 %		
	Автоматизированная система			97 %	3 %		
	Конвейер для отходов					100 %	
	Подвижная опора				100 %		
	Воздушный компрессор			90 %	3 %	7 %	
	Кондиционирование воздуха с помощью ПЛК и ЧПУ						100 %

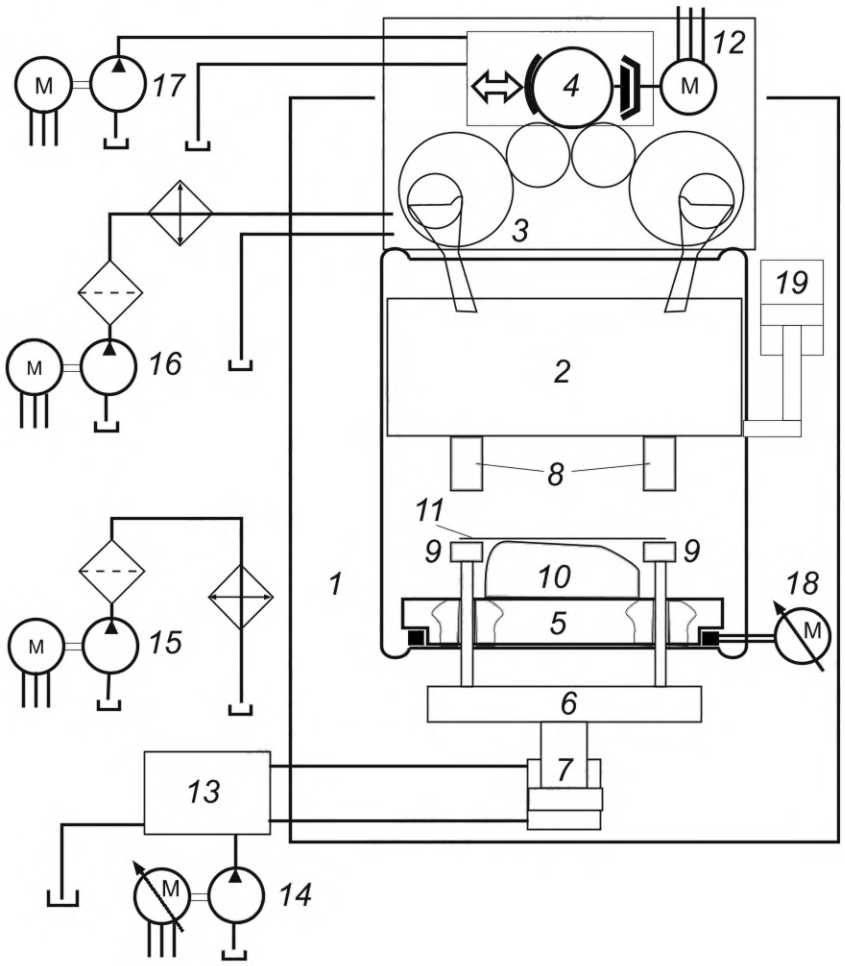
[a] Включая блоки ЧПУ и ПЛК.

Приложение В
(справочное)

Механические прессы

В.1 Пример механического пресса с понижающим ходом (пресса двойного действия)

На рисунке В.1 показан пример механического пресса двойного действия.



1 — рама; *2* — ползун; *3* — эксцентриковый или шарнирный привод; *4* — сцепление и тормоз; *5* — подвижная опора; *6* — матрица штампа; *7* — цилиндр матрицы штампа; *8* — верхний штамп; *9* — прижимное кольцо; *10* — нижний штамп; *11* — заготовка; *12* — главный привод; *13* — матрица штампа гидравлического коллектора; *14* — привод(ы) вспомогательного насоса; *15* — блок привода охладителя; *16* — смазка редуктора; *17* — блок привода сцепления и тормоза; *18* — блок привода подвижной опоры; *19* — система противовесов

Рисунок В.1 — Пример механического пресса двойного действия

В.2 Измерение мощности

В.2.1 Измерение мощности на ползуне

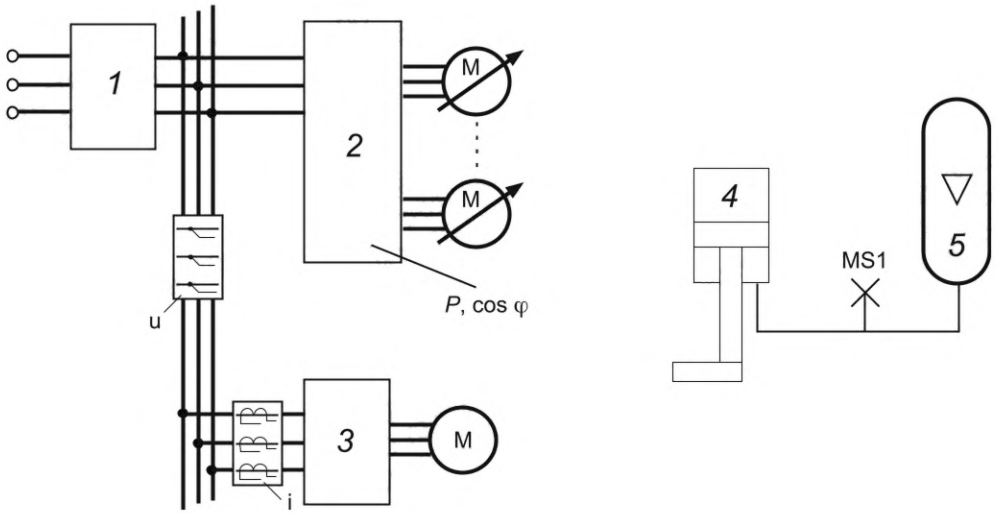
В.2.1.1 Общие положения

Пример блока привода и системы противовесов для механического сервопресса приведен на рисунке В.2.

Блок главного привода может состоять из одного или нескольких двигателей, а блок управления давлением сцепления и тормоза может состоять из одной или нескольких комбинаций двигатель-насос с инвертором или без него.

Поскольку мощность передается от главного привода к ползуну без каких-либо иных средств, кроме механических, мощность, подаваемая на главный(ые) привод(ы) или от него(них), является основной.

Если мощность и коэффициент мощности измеряют с помощью преобразователя и найденные значения являются входной мощностью преобразователя, эти значения могут быть использованы.



1 — главный выключатель; *2* — инверторный блок главного привода; *3* — приводной блок управления давлением, например для сцепления и тормоза; *4* — цилиндр противовеса; *5* — аккумулятор системы противовесов; MS1 — точка измерения давления; u — точка измерения напряжения; i — точка измерения тока

Рисунок В.2 — Блок привода и система противовесов механического сервопресса

Мощность, необходимая для работы сцепления и тормоза, в основном определяется:

- трением в сцеплении при включенном сцеплении;
- мощностью, необходимой для переключения;
- мощностью, необходимой для создания управляющего давления.

Мощность, необходимая для покрытия трения в сцеплении, редукторе и приводном механизме, является частью мощности, подаваемой на главный привод.

Мощность, необходимая для переключения сцепления и тормоза, основана на измерении мощности блока управления давлением.

Приведенные формулы предназначены для расчета энергии, подаваемой на станок, без учета вспомогательных устройств (например, автоматизированных систем), и коэффициента энергоэффективности, связанного со станком, при действии на станке в течение всего цикла.

Пример типовой мощности ползуна в цикле механического сервопресса приведен на рисунке В.3.

В.2.1.2 Мощность во время покоя в верхней мертвой точке (МТ, действие 1)

При выполнении этого действия на станке мощность не передается на ползун или от него. Коэффициент энергоэффективности равен нулю.

В.2.1.3 Мощность при опускании ползуна (МТ, действие 2)

Мощность, подаваемая во время опускания ползуна, используется для ускорения ползуна, преодоления трения в системе привода пресса и для приведения в действие системы противовесов. Измеренная мощность — это мощность, подаваемая на инверторный блок главного привода.

Мощность, приложенную к ползуну, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\mathrm{SlCntrBal.}} = p_{\mathrm{MS1}} \cdot A_{\mathrm{CntrBal.}} \cdot v_{\mathrm{Closing.}}, \quad \text{(В.1)}$$

$$P_{\mathrm{SlTotalClose}} = P_{\mathrm{SlTotalInvClose}} - P_{\mathrm{SlCntrBal.}}, \quad \text{(В.2)}$$

где $P_{\mathrm{SlCntrBal.}}$ — общая мощность, подаваемая на систему противовесов, Вт;

$P_{\mathrm{SlTotalClose}}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на ползун во время опускания, Вт;

$P_{\mathrm{SlTotalInvClose}}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на инверторный блок главного привода, Вт;

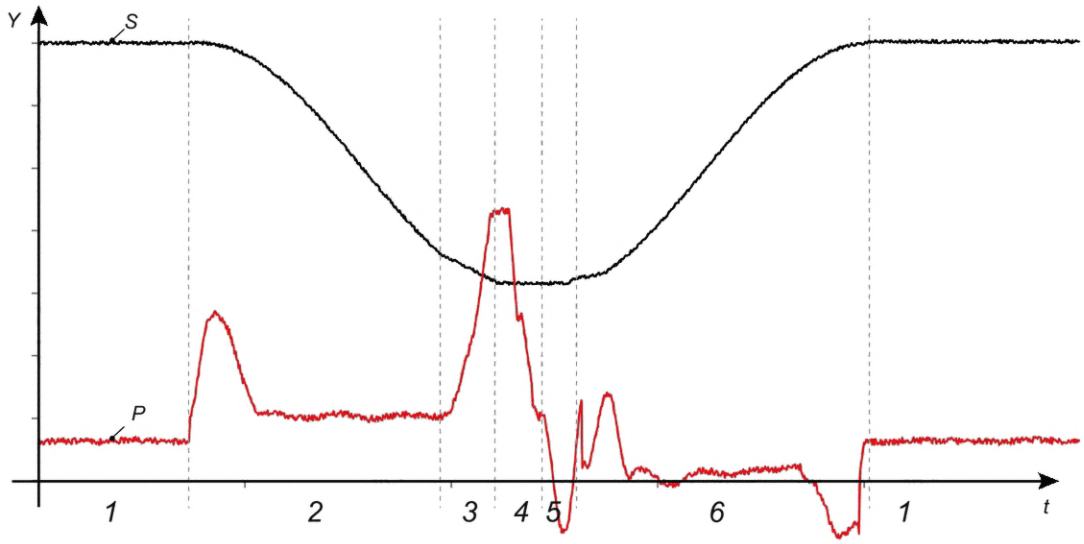
p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

$A_{\mathrm{CntrBal.}}$ — площадь цилиндра противовеса, м^2;

v_{Closing} — фактическая скорость опускания ползуна (*Y*2 в таблице 4), м/с.

В.2.1.4 Мощность при формовании и штамповании (МТ, действия 3 и 4)

Мощность, подаваемая на ползун при формовании и штамповании, используется для перемещения матрицы штампа и системы противовесов, а также для преодоления трения в системе привода пресса (во время измерения заготовка не формируется).



1 — действие на станке 1: мощность в состоянии покоя в верхней мертвой точке.
2 — действие на станке 2: мощность во время опускания ползуна.
3 — действие на станке 3: мощность во время формования.
4 — действие на станке 4: мощность во время штампования.
5 — действие на станке 5: мощность во время декомпрессии.
6 — действие на станке 6: мощность во время возврата ползуна.

S — ход ползуна; *t* — время; *P* — фактическая мощность; *Y* — ход соответствующей мощности

Рисунок В.3 — Пример мощности ползуна в цикле работы механического сервопресса

Мощность, необходимая для перемещения матрицы штампа, включена в измеренную мощность, подаваемую на инверторный блок главного привода. Для обеспечения правильного расчета из мощности ползуна следует вычесть мощность матрицы штампа $P_{CuTotalHeadDisp}$ [см. формулы (В.3) и (В.4)]:

$$P_{SlCntrBal.} = p_{MS1} \cdot A_{CntrBal.} \cdot v, \quad (B.3)$$

$$P_{SlTotalForming} = P_{SlTotalInvClose} - P_{SlCntrBal.} - P_{CuTotalHeadDisp.}, \quad (B.4)$$

где $P_{SlCntrBal.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на систему противовесов, Вт;
$P_{SlTotalForming}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на ползун во время формования, Вт;
$P_{SlTotalInvClose}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на инверторный блок главного привода, Вт;
$P_{CuTotalHeadDisp.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая при перемещении матрицы штампа, Вт;
p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;
$A_{CntrBal.}$ — площадь цилиндра противовеса, м^2;
v — фактическая скорость ползуна, м/с.

В.2.1.5 Мощность при декомпрессии (MT, действие 5)

Энергия, сформировавшаяся при удлинении рамы пресса и деформации приводной системы, высвобождается во время декомпрессии. Мощность, измеренная в инверторной системе, не отражает мощность, передаваемую во внутреннюю систему накопления энергии (например, маховик, силовые колпачки и т. д.); эту энергию рассчитывают в соответствии с правилами и формулами для конкретной системы накопления энергии.

В.2.1.6 Мощность при возврате ползуна (MT, действие 6)

Мощность, подаваемую на ползун, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{SlCntrBal.} = p_{MS1} \cdot A_{CntrBal.} \cdot v, \quad (B.5)$$

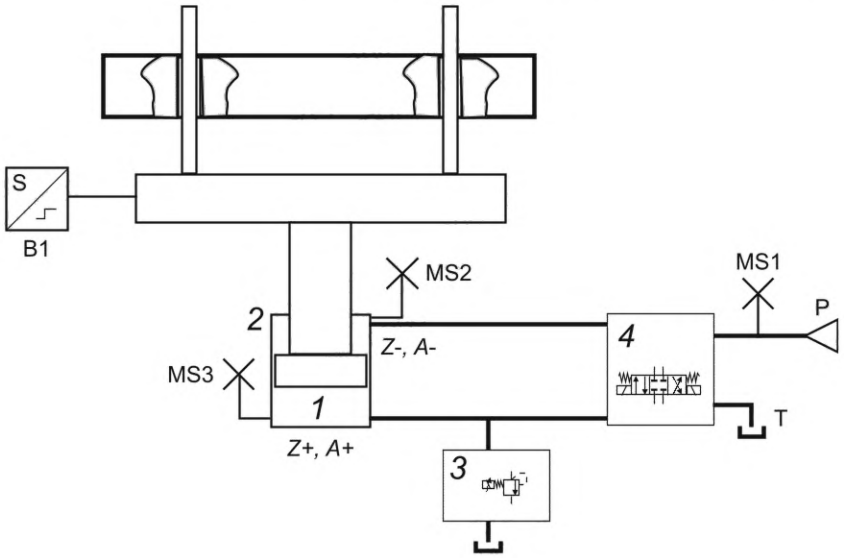
$$P_{SlTotalRet.} = P_{SlTotalInvRet.} + P_{SlCntrBal.}, \quad (B.6)$$

где $P_{SlCntrBal.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на систему противовесов, Вт;
$P_{SlTotalRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на ползун при его возврате, Вт;
$P_{SlTotalInvRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на инверторный блок главного привода, Вт;
p_{MS1} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;
$A_{CntrBal.}$ — площадь цилиндра противовеса, м^2;
v — фактическая скорость ползуна, м/с.

В.2.2 Измерение мощности на матрице штампа

В.2.2.1 Матрица штампа без рекуперации энергии

Пример гидравлической матрицы штампа без рекуперации энергии приведен на рисунке В.4.



1 — матрица штампа на глухом конце цилиндра; *2* — матрица штампа на штоке цилиндра; *3* — блок управления давлением; *4* — блок извлечения/втягивания; Z+ — отверстие со стороны матрицы штампа на глухом конце цилиндра; Z− — отверстие со стороны матрицы штампа на штоке цилиндра; *A+* — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра; *A−* — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра; P — подключение к источнику давления; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения

Рисунок В.4 — Пример гидравлической матрицы штампа без рекуперации энергии

Поток может быть рассчитан по следующим формулам:

$$Q = v \cdot A, \tag{В.7}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \tag{В.8}$$

где Q — поток, поступающий в цилиндр/выходящий из него, м^3/с;

A — площадь цилиндра (A^+, A^-), м^2;

v — скорость подачи матрицы штампа, м/с;

Δs — расстояние, пройденное за время интервала измерения, заданное датчиком положения B1, м;

Δt — интервал измерения, с.

Мощность матрицы штампа может быть измерена в течение всего цикла прессования, а не только во время перемещения матрицы штампа. Мощность матрицы штампа, находящейся в своем конечном положении, равна нулю из-за того, что скорость равна нулю.

Во время формования (MT, действие 3) матрица штампа перемещается под действием ползуна и создает его усилие.

Потери мощности рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\text{CuTotalHeadDisp.}} = p_{\text{MS3}} \cdot A^+ \cdot v, \tag{В.9}$$

$$P_{\text{CuTotalShaftDisp.}} = p_{\text{MS1}} \cdot A^- \cdot v, \tag{В.10}$$

$$P_{\text{CuPowerLossDisp.}} = P_{\text{CuTotalHeadDisp.}} + P_{\text{CuTotalShaftDisp.}}, \tag{В.11}$$

где $P_{\text{CuTotalHeadDisp.}}$ — общая мощность, подаваемая на глухой конец при перемещении, Вт;

$P_{\text{CuTotalShaftDisp.}}$ — общая мощность, подаваемая на шток при перемещении, Вт;

$P_{\text{CuPowerLossDisp.}}$ — общая потеря мощности при перемещении, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^+ — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра, м^2;

A^- — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость подачи матрицы штампа, м/с.

При возврате ползуна (МТ, действие 6) матрица штампа поднимает обработанную заготовку (МТ, действие 6а).

Если регенеративный контур не предусмотрен, мощность, подаваемую на матрицу штампа, рассчитывают по формуле

$$P_{\text{CuPwrLossLift}} = p_{\text{MS1}} \cdot A^{+} \cdot \nu + p_{\text{MS2}} \cdot A^{-} \cdot v. \quad \text{(B.12)}$$

Если предусмотрен регенеративный контур (Z+ гидравлически соединен с Z–), мощность, подаваемую на матрицу штампа, рассчитывают по формуле

$$P_{\text{CuPwrLossLift}} = p_{\text{MS1}} (A^{+} - A^{-}) \cdot \nu + (p_{\text{MS2}} - p_{\text{MS1}}) \cdot A^{-} \cdot v, \quad \text{(B.13)}$$

где $P_{\text{CuPwrLossLift}}$ — общая мощность, потерянная при подъеме матрицы штампа, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

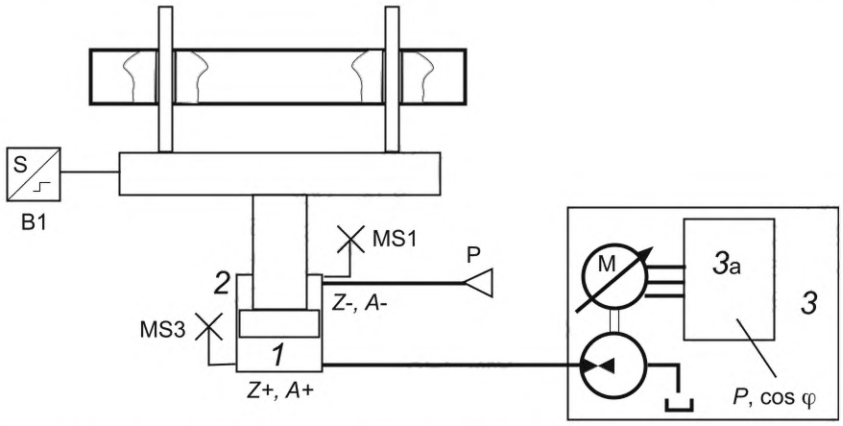
A^{+} — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра, м^2;

A^{-} — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость подачи матрицы штампа, м/с.

B.2.2.2 Матрица штампа с рекуперацией энергии

Пример гидравлической матрицы штампа с рекуперацией энергии приведен на рисунке B.5.



1 — матрица штампа на глухом конце цилиндра; *2* — матрица штампа на штоке цилиндра; *3* — система привода матрицы штампа; *3a* — блок привода инвертора матрицы штампа; Z+ — отверстие со стороны матрицы штампа на глухом конце цилиндра; Z− — отверстие со стороны матрицы штампа на штоке цилиндра; *A+* — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра; *A−* — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра; P — подключение к источнику давления; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения; *P*, cos *φ* — значения, измеряемые инвертором

Рисунок B.5 — Пример гидравлической матрицы штампа с рекуперацией энергии

Поток может быть рассчитан по формулам (B.7) и (B.8).

Мощность матрицы штампа может быть измерена в течение всего цикла прессования, а не только во время перемещения матрицы штампа. Мощность матрицы штампа, находящейся в своем конечном положении, равна нулю из-за того, что скорость равна нулю.

Во время формования (МТ, действие 3) матрица штампа перемещается ползуном при создании его усилия.

Потери мощности рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\text{CuTotalHeadDisp.}} = p_{\text{MS3}} \cdot A^{+} \cdot v, \quad \text{(B.14)}$$

$$P_{\text{CuTotalShaftDisp.}} = p_{\text{MS1}} \cdot A^{-} \cdot v, \quad \text{(B.15)}$$

$$P_{\text{CuPowerLossDisp.}} = P_{\text{CuTotalHeadDisp.}} + P_{\text{CuTotalShaftDisp.}} - P_{\text{CuRecoveryDisp.}}, \quad \text{(B.16)}$$

где $P_{\text{CuTotalHeadDisp.}}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на глухой конец при перемещении, Вт;

$P_{\text{CuTotalShaftDisp.}}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на шток при перемещении, Вт;

$P_{\text{CuPowerLossDisp.}}$ — общая восстановленная электрическая мощность, измеренная в инверторной системе во время перемещения, Вт;

$P_{\text{CuRecoveryDisp.}}$ — общая потеря электрической мощности при перемещении, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^{+} — площадь матрицы штампа на глухом конце цилиндра, м^2;

A^{-} — площадь матрицы штампа на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость подачи матрицы штампа, м/с.

При возврате ползуна (МТ, действие 6) матрица штампа поднимает обработанную заготовку (МТ, действие 6а). Мощность, подаваемую на матрицу штампа, можно измерить с помощью инверторной системы.

В.3 Формулы для расчета энергии для цикла механического пресса (пресса с понижающим ходом)

В.3.1 Общие положения

Формулы в разделе В.3 являются примерами, применимыми для механического пресса, приведенного в В.1, и других прессов с аналогичной функциональностью.

Они предназначены для расчета энергии, необходимой для изменения уровня потенциальной энергии в компоненте станка (например, для опускания и возврата ползуна, зарядки и разрядки масляной пружины в гидравлическом цилиндре), и коэффициента энергоэффективности для действий на станке в соответствии с типовой диаграммой цикла пресса (см. 5.2.5). Эти значения могут быть использованы для определения $W_{MTActivity}$ при расчете энергии в соответствии с ИСО 14955-2.

В эти примеры не включены формулы для компонентов вспомогательных устройств (например, автоматизированных систем). Приведенные формулы могут быть использованы для расчета требуемой энергии для компонентов с аналогичными физическими принципами.

В.3.2 Действие на станке 1: ползун ожидает сигнала запуска в верхней мертвой точке, пока штамп загружается

Вследствие того, что ни ползун, ни матрица штампа не двигаются, энергия не передается ни на ползун, ни на матрицу штампа. Коэффициенты энергоэффективности компонентов пресса равны нулю.

В.3.3 Действие на станке 2: опускание ползуна

Ползун опускается с помощью системы главного привода, преодолевающей трение в приводной системе. Механическая характеристика привода, активируемого двигателем или маховиком, определяет движение ползуна. Если предусмотрена система противовесов, система главного привода должна дополнительно преодолевать силу противовесов.

Энергия, подводимая к ползуну, накапливается в системе противовесов и рассчитывается по формуле

$$W_{SlideClose} = (F_{MovingWeight} - F_{Counterbalance}) \cdot s_{SlideClose}, \quad (B.17)$$

где $W_{SlideClose}$ — энергия, необходимая для опускания ползуна, Дж;

$F_{MovingWeight}$ — усилие, создаваемое весом движущихся частей, Н;

$F_{Counterbalance}$ — среднее усилие, создаваемое системой противовесов, Н;

$s_{SlideClose}$ — расстояние, пройденное ползуном между верхней мертвой точкой и контактом с материалом, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{SlideClose} = \frac{W_{SlideClose}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (B.18)$$

где $\eta_{SlideClose}$ — коэффициент энергоэффективности при опускании ползуна [1];

$W_{SlideClose}$ — возникающая потенциальная энергия, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Примечание — В части «Опускание ползуна» для пресса с рабочим ходом наверх см. «Возврат ползуна».

В.3.4 Действие на станке 3: формование

Заготовка формируется ползуном, в то время как матрица штампа создает противодействующее усилие для работы в качестве держателя заготовки. Требуемое усилие ползуна (в основном, за счет приложения усилия к матрице штампа и усилия, необходимого для формования заготовки) создается крутящим моментом маховика или серводвигателя.

Подаваемую энергию рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{Forming} = F_{Forming} \cdot s_{Forming}, \quad (B.19)$$

$$F_{Forming} = F_{Workpiece} + F_{DieCushion}, \quad (B.20)$$

где $W_{Forming}$ — энергия, подаваемая при формовании, Дж;

$F_{Forming}$ — среднее усилие ползуна при формовании, Н;

$s_{Forming}$ — расстояние, пройденное ползуном между контактом с материалом и нижней мертвой точкой, м;

$F_{Workpiece}$ — среднее усилие, прилагаемое к заготовке, Н;

$F_{DieCushion}$ — среднее усилие, прилагаемое к матрице штампа, Н.

Если во время процедуры испытания не используют заготовку, усилие, прилагаемое к заготовке, равно нулю, и значение $F_{Workpiece} = 0$.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Forming} = \frac{W_{Forming}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (B.21)$$

где $\eta_{Forming}$ — коэффициент энергоэффективности при формовании [1];

$W_{Forming}$ — энергия, подаваемая при формовании, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Если не обеспечивается рекуперация энергии во время формования (например, рекуперация энергии на матрице штампа), то $W_{Forming}$ преобразуется в тепло.

В.3.5 Действие на станке 4: штампование

Во время штампования к прессу прикладывается (программируется) усилие ползуна, что приводит к максимальному удлинению рамы пресса и деформации блока привода в цикле.

Подаваемую энергию рассчитывают по формуле

$$W_{Embossing} = F_{Slide} \cdot s_{Elongation,} \quad (B.22)$$

где $W_{Embossing}$ — энергия, подаваемая при штамповании, Дж;

F_{Slide} — среднее усилие ползуна, Н;

$s_{Elongation}$ — удлинение рамы и деформация блока привода, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Embossing} = \frac{W_{Embossing}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (B.23)$$

где $\eta_{Embossing}$ — коэффициент энергоэффективности при штамповании [1];

$W_{Embossing}$ — энергия, подаваемая при штамповании, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

В.3.6 Действие на станке 5: декомпрессия

На этом этапе снимается напряжение в механизме привода ползуна, матрице штампа и в раме пресса. Возникающая энергия — энергия, запасенная в системе в конце этапа штампования. На механических прессах с маховиком энергия передается в маховик; на механических сервопрессах энергия — в предусмотренную систему накопления энергии (например, силовые колпачки или маховик с электрическим приводом).

Во время декомпрессии подпружиненных матриц в матрицах штампа энергия, высвобождаемая из матрицы штампа, может передаваться в систему накопления энергии ползуна.

Подаваемую энергию рассчитывают по формуле

$$W_{SlideDecomp.} = W_{SlideInvDecomp.} + \Delta W_{EnergyStorage}, \quad (B.24)$$

где $W_{SlideDecomp.}$ — энергия при декомпрессии ползуна, Дж;

$W_{SlideInvDecomp.}$ — энергия за счет интеграции мощности с течением времени, Дж;

$\Delta W_{EnergyStorage}$ — энергия, передаваемая в систему накопления энергии, Дж.

В.3.7 Действие на станке 6: возврат ползуна

Если предусмотрена система противовесов, ползун возвращается в верхнюю мертвую точку с помощью этой системы. В других случаях энергия подается системой главного привода.

Подаваемую энергию рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{SlideReturn} = (F_{Counterbalance} - F_{MovingWeight}) \cdot s_{SlideReturn}, \quad (B.25)$$

где $W_{SlideReturn}$ — энергия, подаваемая при возврате ползуна, Дж;

$F_{MovingWeight}$ — усилие, создаваемое весом движущихся частей, Н;

$F_{Counterbalance}$ — среднее усилие, создаваемое системой противовесов, Н;

$s_{SlideReturn}$ — расстояние, пройденное ползуном между верхней мертвой точкой и нижней мертвой точкой, м.

$$\eta_{SlideReturn} = \frac{W_{SlideReturn}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (B.26)$$

где $\eta_{SlideReturn}$ — коэффициент энергоэффективности при возврате ползуна [1];

$W_{SlideReturn}$ — энергия, подаваемая при возврате ползуна, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Примечание — В части «Возврат ползуна» для пресса с рабочим ходом наверх см. «Опускание ползуна».

В.3.8 Действие на станке 6а: извлечение заготовки

При возврате ползуна заготовка выталкивается матрицей(ами) штампа.

Энергию, необходимую для подъема заготовки (на всех типах прессов), рассчитывают по формуле

$$W_{Ejection} = F_{MovingWeightDieCushion} \cdot s_{Forming}, \quad (B.27)$$

где $W_{Ejection}$ — энергия, подаваемая при извлечении заготовки, Дж;

$F_{MovingWeightDieCushion}$ — усилие, создаваемое весом движущихся частей, Н;

$s_{Forming}$ — расстояние, пройденное ползуном между нижней мертвой точкой и контактом материала, м.

В.4 Количественное функциональное отображение для механического пресса двойного действия

Пример функционального отображения для механического пресса двойного действия приведен в таблице В.1.

Таблица В.1 — Пример количественного функционального отображения

		Функции станка					
		Действия на станке (механическая обработка, технологические процессы, перемещение и управление)	Процесс кондиционирования	Обработка заготовок	Смена инструмента	Материалы для вторичной переработки и обращения с отходами	Охлаждение/смазка станка
Компоненты станка	Компоненты управления[a]	55 %	4 %	30 %	5 %	1 %	5 %
	Привод(ы) вспомогательного насоса	80 %	5 %	5 %	10 %		
	Привод(ы) охлаждающего насоса						100 %
	Смазка коробки передач						100 %
	Ползун (блок главного привода)	95 %			5 %		
	Матрица штампа	95 %			5 %		
	Автоматизированная система			97 %	3 %		
	Конвейер для отходов					100 %	
	Подвижная подкладка				100 %		
	Воздушный компрессор	5 %		85 %	3 %	7 %	
	Система противовесов	95 %			5 %		
	Кондиционирование воздуха с помощью ПЛК и ЧПУ						100 %

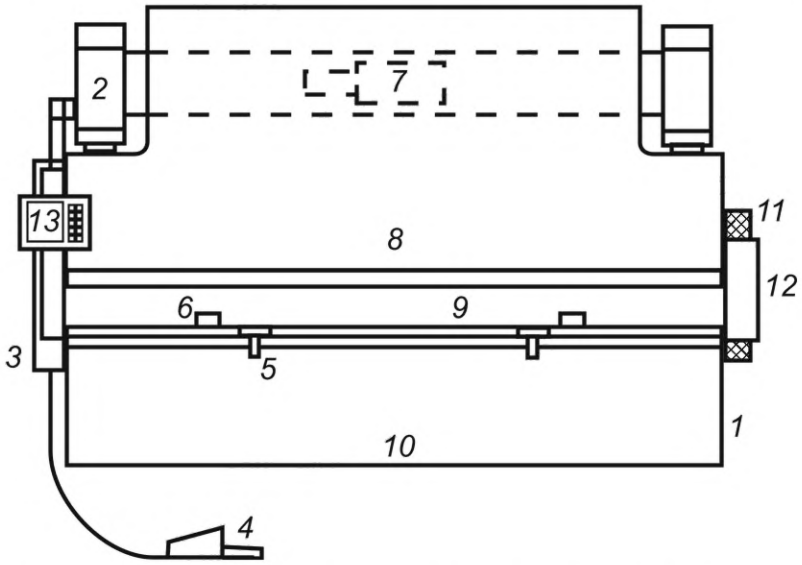
[a] Включая блоки ЧПУ и ПЛК.

Приложение С
(справочное)

Гидравлические листогибочные прессы

С.1 Пример гидравлического листогибочного пресса

На рисунке С.1 показан пример гидравлического листогибочного пресса с понижающим ходом.



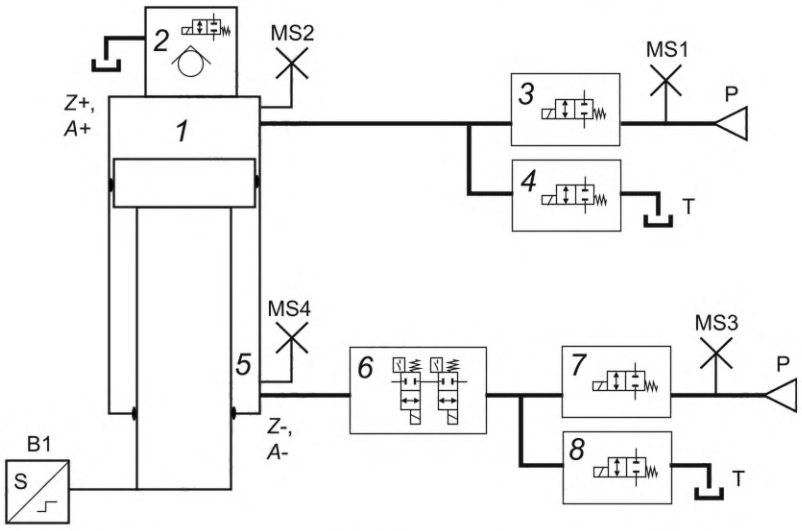
1 — рама; *2* — цилиндр пресса; *3* — электрический распределительный шкаф; *4* — педаль; *5* — опора для заготовки; *6* — задний упор; *7* — гидравлическая система; *8* — траверса; *9* — инструменты; *10* — станина; *11* — боковое ограждение; *12* — световой отражатель; *13* — панель управления

Рисунок С.1 — Пример гидравлического листогибочного пресса с понижающим ходом

С.2 Измерение мощности гидравлического листогибочного пресса

С.2.1 Общие сведения

Пример гидравлического листогибочного пресса с рекуперацией энергии приведен на рисунке С.2.



1 — траверса на глухом конце цилиндра; *2* — предварительная заливка; *3* — управляющий блок глухого конца; *4* — декомпрессионный блок; *5* — траверса на штоке цилиндра; *6* — предохранительный блок пресса; *7* — блок возврата траверсы; *8* — блок опускания траверсы; *Z+* — отверстие со стороны траверсы на глухом конце цилиндра; *Z−* — отверстие со стороны траверсы на штоке цилиндра; *A+* — площадь траверсы на глухом конце цилиндра; *A−* — площадь траверсы на штоке цилиндра; P — подключение к источнику давления; MSx — точки измерения давления; B1 — датчик положения

Рисунок С.2 — Пример гидравлической траверсы для листогибочного пресса с понижающим ходом

Поток может быть рассчитан по следующим формулам:

$$Q = v \cdot A, \tag{C.1}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \tag{C.2}$$

где Q — поток, поступающий в цилиндр/выходящий из него, м^3/с;

A — площадь цилиндра ($A+$, $A-$), м^2;

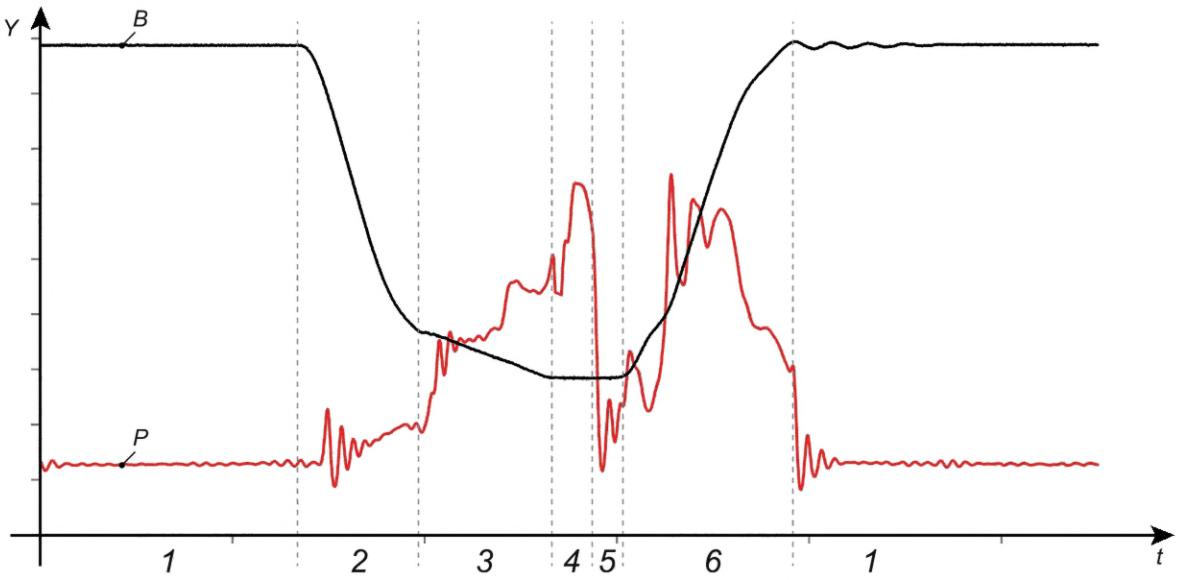
v — скорость траверсы, м/с;

Δs — расстояние, пройденное за время интервала измерения, заданное датчиком положения B1, м;

Δt — интервал измерения, с.

Приведенные ниже формулы предназначены для расчета мощности, прилагаемой к компоненту станка, и коэффициента энергоэффективности, связанного с этим компонентом станка в цикле прессования. Мощность, приложенная для преодоления трения в уплотнении и направляющей, является частью мощности, прилагаемой к цилиндру траверсы.

Пример типовой мощности траверсы в цикле работы гидравлического листогибочного пресса приведен на рисунке С.3.



1 — действие на станке 1: мощность во время покоя в верхней мертвой точке.
2 — действие на станке 2: мощность во время опускания траверсы.
3 — действие на станке 3: мощность во время изгиба.
4 — действие на станке 4: мощность во время прессования.
5 — действие на станке 5: мощность во время декомпрессии.
6 — действие на станке 6: мощность во время возврата траверсы.

B — ход траверсы; *t* — время; *P* — фактическая мощность; *Y* — ход соответствующей мощности

Рисунок С.3 — Пример мощности траверсы в цикле работы гидравлического листогибочного пресса

С.2.2 Мощность во время покоя в верхней мертвой точке (MT, действие 1)

При выполнении этого действия на станке мощность не передается на траверсу или от нее. Измеренная мощность — мощность, необходимая для работы на холостом ходу, а коэффициент энергоэффективности равен нулю.

С.2.3 Мощность при опускании балки (MT, действия 2—4)

В данном расчете при опускании траверсы учитывают измерение мощности при выполнении действия 2 (опускание траверсы), 3 (изгиб) и 4 (прессование) на станке. Приведенные формулы действительны для всех трех действий на станке.

Мощность, приложенную к траверсе, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{\text{SlTotalHeadDesc.}} = p_{\text{MS1}} \cdot A^{+} \cdot v, \tag{C.3}$$

$$P_{\text{SlCylHeadDesc.}} = p_{\text{MS2}} \cdot A^{+} \cdot v, \tag{C.4}$$

$$P_{\text{SlCylShaftDesc.}} = p_{\text{MS4}} \cdot A^{-} \cdot v, \tag{C.5}$$

где $P_{SlTotalHeadDesc.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на систему траверсы на глухом конце цилиндра, Вт;

$P_{SlCylHeadDesc.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на траверсу на глухом конце цилиндра, Вт;

$P_{SlCylShaftDesc.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на траверсу на штоке цилиндра, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^+ — площадь траверсы на глухом конце цилиндра, м^2;

A^- — площадь траверсы на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость траверсы, м/с.

$P_{SlCylShaftDesc.}$ — это потеря мощности на траверсе на штоке. Если предусмотрена рекуперация энергии для траверсы на штоке, например рекуперация в сеть аккумулятором, выходная мощность системы рекуперации энергии может быть вычтена из $P_{SlCylShaftDesc}$.

Примечание — Во время рекуперации энергии значение $P_{SlCylShaftDesc.}$ предполагается отрицательным.

Общую потерю мощности при опускании рассчитывают по формуле

$$P_{SlPwrLossDesc.} = P_{SlTotalHeadDesc.} + P_{SlCylShaftDesc.} - P_{SlShaftDescRecov.}, \quad (C.6)$$

где $P_{SlPwrLossDesc.}$ — общая потеря мощности при опускании траверсы, Вт;

$P_{SlTotalHeadDesc.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на систему траверсы на глухом конце цилиндра, Вт;

$P_{SlCylShaftDesc.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на траверсу на штоке цилиндра, Вт;

$P_{SlShaftDescRecov.}$ — общая электрическая мощность, возвращаемая от штока траверсы во время опускания, Вт.

С.2.4 Мощность при декомпрессии (МТ, действие 5)

Энергия, выделяющаяся при декомпрессии, передана на траверсу во время прессования (МТ действие 4). Среднюю восстанавливаемую мощность рассчитывают по формуле

$$P_{SlCylDecomp.} = \frac{\left(\left(p_{0_MS2}^2 - p_{1_MS2}^2\right)\cdot V^+ + \left(p_{0_MS4}^2 - p_{1_MS4}^2\right)\cdot V^-\right)\cdot \beta}{2t_{Decomp.}}, \quad (C.7)$$

где $P_{SlCylDecomp.}$ — мощность, генерируемая траверсой во время декомпрессии, Вт;

p_{0_MS2} — давление перед декомпрессией на траверсе на глухом конце цилиндра, Па;

p_{1_MS2} — давление после декомпрессии на траверсе на глухом конце цилиндра, Па;

p_{0_MS4} — давление перед декомпрессией на траверсе на штоке цилиндра, Па;

p_{1_MS4} — давление после декомпрессии на траверсе на штоке цилиндра, Па;

$t_{Decomp.}$ — время декомпрессии, с;

V^+ — объем масла на траверсе на глухом конце цилиндра, м^3;

V^- — объем масла на траверсе на штоке цилиндра, м^3;

β — сжимаемость, 1/Па (например, для минерального масла $\beta = 7 \cdot 10^{-10}$ 1/Па).

Объем масла V должен также включать объем масла в трубах и коллекторах, давление которого изменяется во время декомпрессии.

Если для декомпрессии предусмотрена рекуперация энергии, то интегрированная мощность, измеренная на выходе системы рекуперации, отражает количество рекуперированной энергии.

С.2.5 Мощность при возврате траверсы (МТ, действие 6)

Мощность, подаваемую на траверсу, рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{SlTotalShaftRet.} = p_{MS3} \cdot A^- \cdot v, \quad (C.8)$$

$$P_{SlCylShaftRet.} = p_{MS4} \cdot A^- \cdot v, \quad (C.9)$$

$$P_{SlCylHeadRet.} = p_{MS2} \cdot A^+ \cdot v, \quad (C.10)$$

$$P_{SlPwrLossRet.} = P_{SlTotalHeadRet.} + P_{SlTotalShaftRet.}, \quad (C.11)$$

где $P_{SlTotalShaftRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на траверсу на штоке, Вт;

$P_{SlCylShaftRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на траверсу на штоке цилиндра, Вт;

$P_{SlCylHeadRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая на траверсу на глухом конце цилиндра, Вт;

$P_{SlPwrLossRet.}$ — общая потеря электрической мощности при возврате траверсы, Вт;

$P_{SlTotalHeadRet.}$ — общая электрическая мощность, подаваемая траверсу на глухом конце, Вт;

p_{MSx} — давление, измеренное в точке измерения x, Па;

A^+ — площадь траверсы на глухом конце цилиндра, м^2;

A^- — площадь траверсы на штоке цилиндра, м^2;

v — фактическая скорость траверсы, м/с.

$P_{SlCylHeadRet.}$ — потеря мощности на траверсе на глухом конце. Если предусмотрена рекуперация энергии на траверсе на глухом конце, выходная мощность системы рекуперации может быть вычтена из $P_{SlCylHeadRet.}$

Разница между $P_{SlTotalShaftRet.}$ и $P_{SlCylShaftRet.}$ заключается в потере мощности на коллекторе(ах) траверсы на штоке во время ее возврата.

С.3 Формулы для расчета энергии для цикла гидравлического листогибочного пресса (пресса с понижающим ходом)

С.3.1 Общие положения

Приведенные формулы являются примерами, применимыми для гидравлического листогибочного пресса, приведенного в С.1, и других листогибочных прессов с аналогичной функциональностью.

Формулы предназначены для расчета энергии, необходимой для изменения уровня потенциальной энергии в компоненте станка (например, для опускания и возврата траверсы, зарядки и разрядки масляной пружины в гидравлическом цилиндре), и коэффициента энергоэффективности для действий на станке в соответствии с типовой диаграммой цикла листогибочного пресса (см. 5.3.5). Эти значения могут быть использованы для определения $W_{MTActivity}$ при расчете энергии согласно ИСО 14955-2.

В настоящем приложении не приведены формулы для компонентов вспомогательных устройств (например, автоматизированных систем). Приведенные формулы могут быть использованы для расчета требуемой энергии для компонентов с аналогичными физическими принципами.

С.3.2 Действие на станке 1: траверса ожидает сигнала запуска в верхней мертвой точке, пока штамп загружается

Вследствие того, что траверса не движется, энергия не передается на траверсу или от нее. Коэффициент энергоэффективности компонентов листогибочного пресса равен нулю.

С.3.3 Действие на станке станка 2: опускание траверсы

Траверса опускается под действием силы тяжести. Движение траверсы регулируется потоком жидкости из нижнего цилиндра.

Начальную энергию, накопленную в массе траверсы, рассчитывают по формуле

$$W_{SlClose} = F_{MovingWeight} \cdot s_{SlClose}, \quad (C.12)$$

где $W_{SlClose}$ — начальная энергия, накопленная в массе траверсы, Дж;

$F_{MovingWeight}$ — сила, создаваемая весом движущихся частей, Н;

$s_{SlClose}$ — расстояние, пройденное траверсой между верхней мертвой точкой и контактом с материалом, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{SlClose} = \frac{W_{SlClose}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (C.13)$$

где $\eta_{SlClose}$ — коэффициент энергоэффективности при опускании траверсы [1];

$W_{SlClose}$ — начальная энергия, накопленная в массе траверсы, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Примечание — В части «Опускание траверсы» для пресса с рабочим ходом наверх см. «Возврат траверсы».

С.3.4 Действие на станке 3: изгиб

Заготовка удерживается оператором или рабочей опорой и формируется траверсой, оснащенной инструментами. Требуемое усилие траверсы (в зависимости от толщины заготовки, прочности на растяжение, длины и ширины инструмента) создается давлением жидкости.

Подаваемую энергию рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{Bending} = F_{Bending} \cdot s_{Bending}, \quad (C.14)$$

где $W_{Bending}$ — энергия, подаваемая при изгибе, Дж;

$F_{Bending}$ — среднее усилие траверсы при изгибе, Н;

$s_{Bending}$ — расстояние, пройденное траверсой между контактом с материалом и нижней мертвой точкой, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Bending} = \frac{W_{Bending}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (C.15)$$

где $\eta_{Bending}$ — коэффициент энергоэффективности при изгибе [1];

$W_{Bending}$ — энергия, подаваемая при изгибе, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

С.3.5 Действие на станке 4: прессование

Во время прессования усилие траверсы создается за счет удлинения рамы листогибочного пресса путем позиционирования траверсы и прикладывается в течение запрограммированного времени обработки. Удлинение рамы листогибочного пресса и сжатие гидравлической пружины влияют на подаваемую энергию.

Подаваемую энергию рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{Pressing} = F_{Sl}\left(s_{Elongation} + \frac{s_{Compression}}{2}\right), \quad (C.16)$$

где $W_{Pressing}$ — энергия, подаваемая при прессовании, Дж;

F_{Sl} — среднее усилие траверсы, Н;

$s_{Elongation}$ — удлинение рамы, м;

$s_{Compression}$ — расчетный путь сжатия (масляной пружины), м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Pressing} = \frac{W_{Pressing}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (C.17)$$

где $\eta_{Pressing}$ — коэффициент энергоэффективности при прессовании [1];

$W_{Pressing}$ — энергия, подаваемая при прессовании, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

С.3.6 Действие на станке 5: декомпрессия

Начальная энергия, накопленная в глухом конце цилиндра, равна энергии в конце фазы изгиба. Без средств регенерации энергия, вырабатываемая в глухом конце цилиндра, преобразуется декомпрессионным блоком в тепло.

С.3.7 Действие на станке 6: возврат траверсы

Траверса возвращается в верхнюю мертвую точку под действием гидравлической жидкости.

Подаваемую энергию рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{SlRet.} = F_{MovingWeight} \cdot s_{SlRet.}, \quad (C.18)$$

где $W_{SlRet.}$ — энергия, подаваемая при возврате траверсы, Дж;

$F_{MovingWeight}$ — сила, создаваемая весом движущихся частей, Н;

$s_{SlRet.}$ — расстояние, пройденное траверсой между верхней мертвой точкой и нижней мертвой точкой, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{SlRet.} = \frac{W_{SlRet.}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (C.19)$$

где $\eta_{SlRet.}$ — коэффициент энергоэффективности при возврате траверсы [1];

$W_{SlRet.}$ — энергия, подаваемая при возврате траверсы, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границе системы при действии на станке, Дж.

Примечание — В части «Возврат траверсы» для пресса с рабочим ходом наверх см. «Опускание балки траверсы».

С.4 Количественное функциональное отображение для гидравлического листогибочного пресса

Пример функционального отображения для гидравлического листогибочного пресса приведен в таблице С.1.

Таблица С.1 — Пример количественного функционального отображения

		Функции станка					
		Действия на станке (механическая обработка, технологические процессы, перемещение и управление)	Процесс кондиционирования	Обработка заготовок	Смена инструмента	Материалы для вторичной переработки и обращения с отходами	Охлаждение/смазка станка
Компоненты станка	Компоненты управления[a]	95 %					5 %
	Гидравлический привод траверсы	95 %					5 %
	Верхний узел	95 %					5 %
	Задний упор	95 %					5 %
	Блок зажима инструмента				100 %		

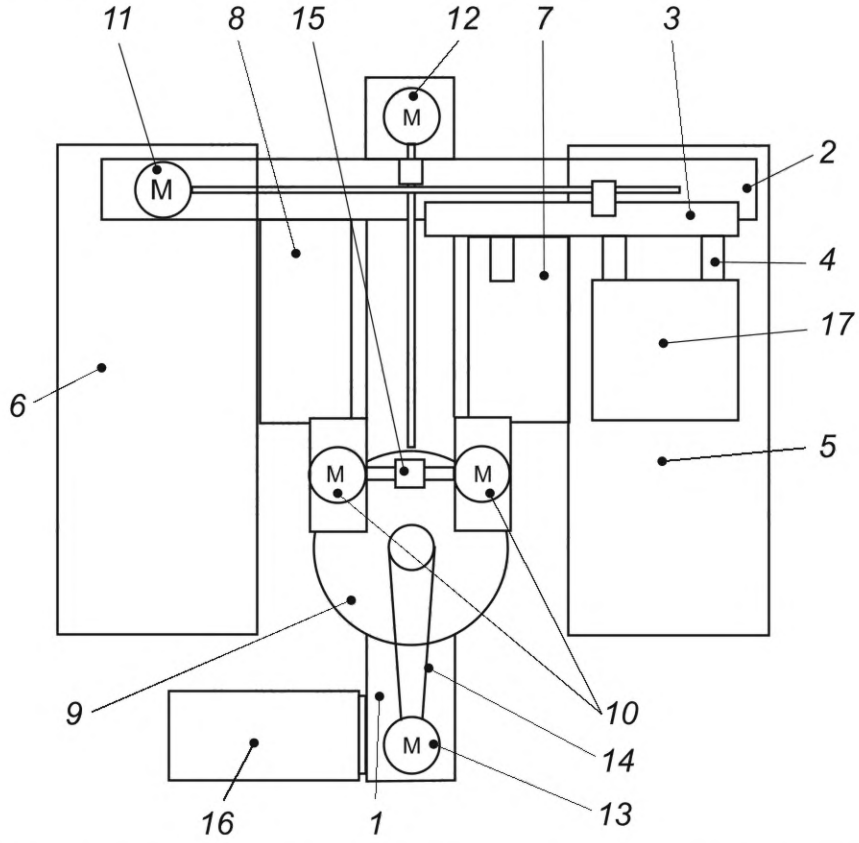
[a] Включая блоки ЧПУ и ПЛК.

Приложение D
(справочное)

Револьверные штамповочные прессы

D.1 Пример штамповочного сервопресса

На рисунке D.1 приведен пример штамповочного сервопресса (штамповочного пресса с прямым двойным приводом и сервоприводом переменного тока).



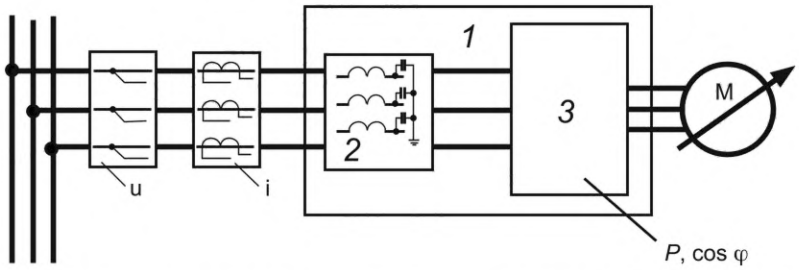
1 — станина; *2* — ползун; *3* — каретка; *4* — зажим; *5* — установочная плита F; *6* — установочная плита R; *7* — подвижная плита F; *8* — подвижная плита R; *9* — револьверная головка; *10* — приводной двигатель плунжера; *11* — двигатель по оси *X*; *12* — двигатель по оси *Y*; *13* — двигатель по оси *T*; *14* — цепь; *15* — боек и плунжер; *16* — блок ЧПУ; *17* — заготовка

Рисунок D.1 — Пример штамповочного пресса с прямым двойным приводом и сервоприводом переменного тока

D.2 Измерение мощности револьверного штамповочного пресса

D.2.1 Общие положения

Пример типового привода штамповочного сервопресса приведен на рисунке D.2.



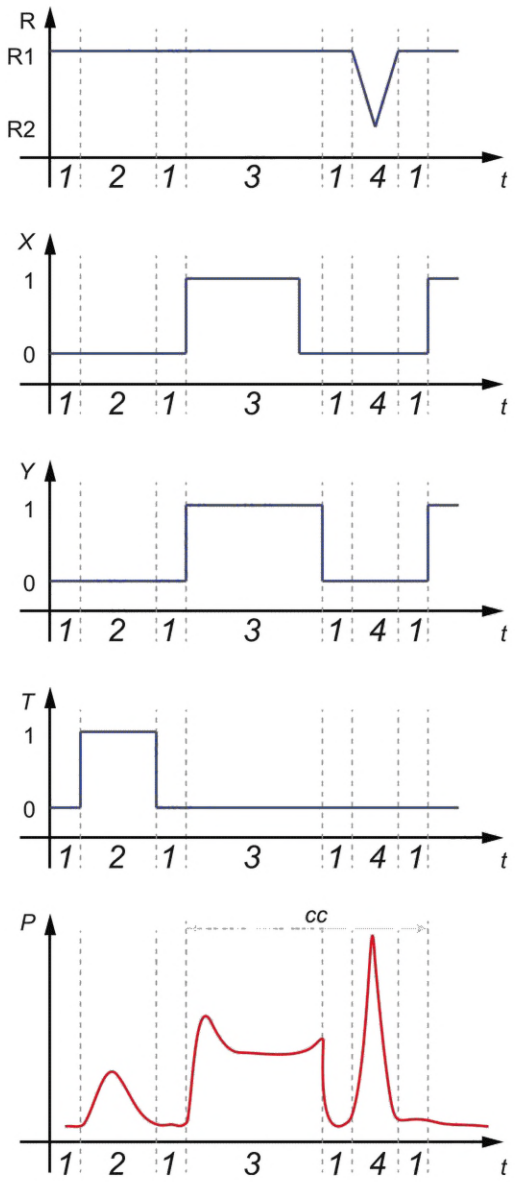
1 — инверторная система; *2* — линейный фильтр и линейный реактор; *3* — инвертор (с функцией измерения мощности); u — точка измерения напряжения; i — точка измерения тока; *P*, cos *φ* — значения, измеренные инвертором

Рисунок D.2 — Пример привода штамповочного сервопресса

Обычно значение имеет мощность двигателей, приводящих в движение компоненты через механические передачи, такие как плунжер, оси *X*, *Y* и *T*.

Если инвертор обеспечивает измерение входной мощности и фазового угла, эти значения могут быть использованы.

Пример типовой диаграммы мощности в цикле работы револьверного штамповочного пресса приведен на рисунке D.3.



1 — действие на станке 1: «Режим ожидания». Ожидание сигнала запуска осей.

2 — действие на станке 2: позиционирование штампа. Поворот по оси *T* для установки штампа в центр пуансона.

3 — действие на станке 3: позиционирование заготовки. Перемещение по осям *X* и *Y* для установки заготовки в положение обработки.

4 — действие на станке 4: штамповка. Плунжер опускается и обрабатывает отверстия для штамповки, затем перемещается к верхнему концу.

R — плунжер; R1 — верхний конец плунжера; R2 — нижний конец плунжера; X — движение по оси *X*; Y — движение по оси *Y*; T — движение по оси *T*; *t* — время; *P* — фактическая мощность; *cc* — полный цикл штамповки

Рисунок D.3 — Пример диаграммы мощности в цикле работы револьверного штамповочного пресса

D.2.2 Мощность в режиме ожидания (MT, действие 1)

При выполнении этого действия станок ожидает сигнала запуска. Ни одна ось не передает мощность. Измеренная мощность соответствует мощности холостого хода, а коэффициент энергоэффективности равен нулю.

D.2.3 Мощность при позиционировании штампа (MT, действие 2)

При выполнении этого действия происходит поворот по оси *T* для установки штампа в центр пуансона. Это действие выполняется только в первый раз, если в штампе отсутствуют изменения. Измеренная мощность — мощность, подаваемая на двигатель по оси *T*.

D.2.4 Мощность для позиционирования заготовки (MT, действие 3)

Зажим (*4*), захватывающий заготовку (*17*), перемещается в положение обработки с помощью двигателей по осям *X* и *Y* через каретку (*3*), которая находится в состоянии ускорения, равномерного перемещения и замедления. Измеренная мощность — мощность, подаваемая на двигатели по осям *X* и *Y* (приведенные обозначения позиций указаны на рисунке D.1).

D.2.5 Мощность для штамповки (MT, действие 4)

Происходит опускание оси плунжера с помощью приводного двигателя (*10*) и обработка отверстий в заготовке (*17*) с помощью штампа. Плунжер перемещается вниз к нижнему концу, а затем поднимается к верхнему концу, чтобы подготовиться к следующему рабочему движению. Измеренная мощность — мощность, подаваемая на приводной двигатель плунжера (приведенные обозначения позиций указаны на рисунке D.1).

D.3 Формулы для расчета энергии штамповочного сервопресса

D.3.1 Общие положения

Формула расчета, полученная в настоящем пункте, соответствует штамповочному сервопрессу, показанному на рисунке D.2, и штамповочным прессам с одинаковыми элементами (например, количество приводных двигателей, оси *X* и *Y*, приводимые в движение реечной и червячно-реечной или шариковинтовой передачей).

D.3.2 Действие на станке 1: режим ожидания

Оси *X*, *Y* и плунжер находятся в состоянии ожидания сигнала запуска без движения, и передача энергии на оси *X*, *Y* и плунжер отсутствует. Каждый коэффициент энергоэффективности равен нулю.

D.3.3 Действие на станке 2: позиционирование штампа

Состояние, при котором штамп на револьверной головке вращается с помощью двигателя по оси *T* и устанавливается в заранее заданное положение (угол).

Энергию, необходимую для установки штампа в заранее заданное положение, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_T = T_{TAcc.} \cdot \Theta_{TAcc.} + T_{TFriction} \cdot \Theta_T + T_{TDec.} \cdot \Theta_{TDec.}, \quad (D.1)$$

$$\Theta_T = \Theta_{TAcc.} + \Theta_{TUni.} + \Theta_{TDec.}, \quad (D.2)$$

где W_T — энергия, необходимая для поворота по оси *T*, Дж;

$T_{TAcc.}$ — крутящий момент, необходимый для ускорения по оси *T*, Н·м;

$\Theta_{TAcc.}$ — угол поворота, который изменился во время ускорения по оси *T* [1];

$T_{TFriction}$ — момент трения при перемещении вращающейся детали по оси *T* с постоянной скоростью, зависящий от массы компонентов станка, связанных с осью *T*, например револьверной головки (*9*) и штампа, Н · м;

Θ_T — угол поворота, для которого требуется позиционирование по оси *T* [1];

$T_{TDec.}$ — крутящий момент, необходимый для замедления по оси *T*, Н·м;

$\Theta_{TDec.}$ — угол поворота, который изменился в момент замедления по оси *T* [1];

$\Theta_{TUni.}$ — угол поворота, который изменился в момент достижения постоянной скорости [1].

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_T = \frac{W_T}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (D.3)$$

где η_T — коэффициент энергоэффективности во время позиционирования штампа [1];

W_T — энергия, необходимая для вращения по оси *T*, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

При использовании рекуперативного привода энергия торможения по оси T может быть частично восстановлена.

D.3.4 Действие на станке 3: позиционирование заготовки

Состояние, при котором заготовка устанавливают в заранее заданное положение с помощью двигателей по оси *X* и по оси *Y*.

Энергию, необходимую для установки оси *X* в заданное положение, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_X = W_{XAcc.} + W_{XUni.} + W_{XDec.}, \quad (D.4)$$

$$W_{XAcc.} = (F_{XAcc.} + F_{XFriction}) \cdot s_{XAcc.}, \quad (D.5)$$

$$W_{XUni.} = F_{XFriction} \cdot s_{XUni.}, \quad (D.6)$$

$$W_{XDec.} = (F_{XDec.} - F_{XFriction}) \cdot s_{XDec.}, \quad (D.7)$$

где W_X — энергия, необходимая для позиционирования по оси *X*, Дж;

$W_{XAcc.}$ — энергия, необходимая для ускорения по оси *X*, Дж;

$F_{XAcc.}$ — усилие, необходимое для ускорения по оси *X*, Н;

$F_{XFriction}$ — сила трения при перемещении по оси *X*, зависящая от массы компонентов станка, связанных с осью *X*, например каретки (*3*), зажима (*4*), заготовки (*17*) (приведенные обозначения позиций на рисунке D.1), Н;

$s_{XAcc.}$ — расстояние, пройденное по оси *X* при ускорении, м;

$W_{XUni.}$ — энергия, необходимая для равномерного перемещения по оси *X*, м;

$s_{XUni.}$ — расстояние, пройденное во время равномерного перемещения по оси *X*, м;

$W_{XDec.}$ — энергия, необходимая для замедления по оси *X*, Дж;

$F_{XDec.}$ — усилие, необходимое для замедления по оси *X*, Н;

s_{XDec} — расстояние, пройденное во время замедления по оси *X*, м.

Энергию, необходимую для установки оси *Y* в заданное положение, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_Y = W_{YAcc.} + W_{YUni.} + W_{YDec.}, \quad (D.8)$$

$$W_{YAcc.} = (F_{YAcc.} + F_{YWeight}) \cdot s_{YAcc.}, \quad (D.9)$$

$$W_{YUni.} = F_{YWeight} \cdot s_{YUni.}, \quad (D.10)$$

$$W_{YDec.} = (F_{YDec.} - F_{YWeight}) \cdot s_{YDec.}, \quad (D.11)$$

где W_Y — энергия, необходимая для позиционирования по оси *Y*, Дж;

$W_{YAcc.}$ — энергия, необходимая для ускорения по оси *Y*, Дж;

$F_{YAcc.}$ — усилие, необходимое для ускорения по оси *Y*, Н;

$F_{YWeight}$ — сила трения при перемещении по оси *Y*, зависящая от массы компонентов станка, связанных с осью *Y*, например массы, связанной с осью *X*, приводного устройства по оси *X*, ползуна (*2*), подвижного стола F (*7*), подвижного стола R (*8*) (приведенные обозначения позиций на рисунке D.1), Н;

$s_{YAcc.}$ — расстояние, пройденное по оси *Y* при ускорении, м;

$W_{YUni.}$ — энергия, необходимая для равномерного перемещения по оси *Y*, Дж;

$s_{YUni.}$ — расстояние, пройденное во время равномерного перемещения по оси *Y*, м;

$W_{YDec.}$ — энергия, необходимая для замедления по оси *Y*, Дж;

$F_{YDec.}$ — усилие, необходимое для замедления по оси *Y*, Н;

$s_{YDec.}$ — расстояние, пройденное во время замедления по оси *Y*, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{XY} = \frac{W_X + W_Y}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (D.12)$$

где η_{XY} — коэффициент энергоэффективности при позиционировании заготовки [1];

W_X — энергия, необходимая для позиционирования по оси *X*, Дж;

W_Y — энергия, необходимая для позиционирования по оси *Y*, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Если каждый двигатель оснащен системой рекуперации, энергия торможения по осям *X* и *Y* может быть восстановлена.

D.3.5 Действие на станке 4: штамповка

Боек, приводимый в движение плунжером, перемещается вниз и выполняет штамповку, а затем поднимается к верхнему концу.

Энергию, необходимую для штамповки, рассчитывают по формуле

$$W_{Punching} = F_{Punching} \cdot s_{Punching}, \quad (D.13)$$

где $W_{Punching}$ — энергия, необходимая для штамповки, Дж;

$F_{Punching}$ — усилие, необходимое для штамповки, Н;

$s_{Punching}$ — длина, которую создает мощность штамповки (длина среза), м.

Примечание — Длина среза зависит от зазора между пуансоном и штампом, материала и формы инструмента.

Коэффициент энергоэффективности при штамповке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Punching} = \frac{W_{Punching}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (D.14)$$

где $\eta_{Punching}$ — коэффициент энергоэффективности при штамповке [1];

$W_{Punching}$ — энергия, необходимая для штамповки, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Если приводной двигатель плунжера оснащен системой рекуперации, энергия торможения плунжера во время спуска и подъема может быть восстановлена.

D.4 Количественное функциональное отображение для штамповочного сервопресса

Пример функционального отображения для штамповочного сервопресса приведен в таблице D.1.

Таблица D.1 — Пример количественного функционального отображения

		Функции станка					
		Действия на станке (механическая обработка, технологические процессы, перемещение и управление)	Процесс кондиционирования	Обработка заготовок	Смена инструмента	Материалы для вторичной переработки и обращения с отходами	Охлаждение/смазка станка
Компоненты станка	Компоненты управления[a]	85 %		5 %	5 %		5 %
	Приводной двигатель плунжера	100 %					
	Двигатель по оси *X*	100 %					
	Двигатель по оси *Y*	100 %					
	Двигатель по оси *T*	90 %			10 %		
	Охлаждающий вентилятор для приводного двигателя плунжера						100 %

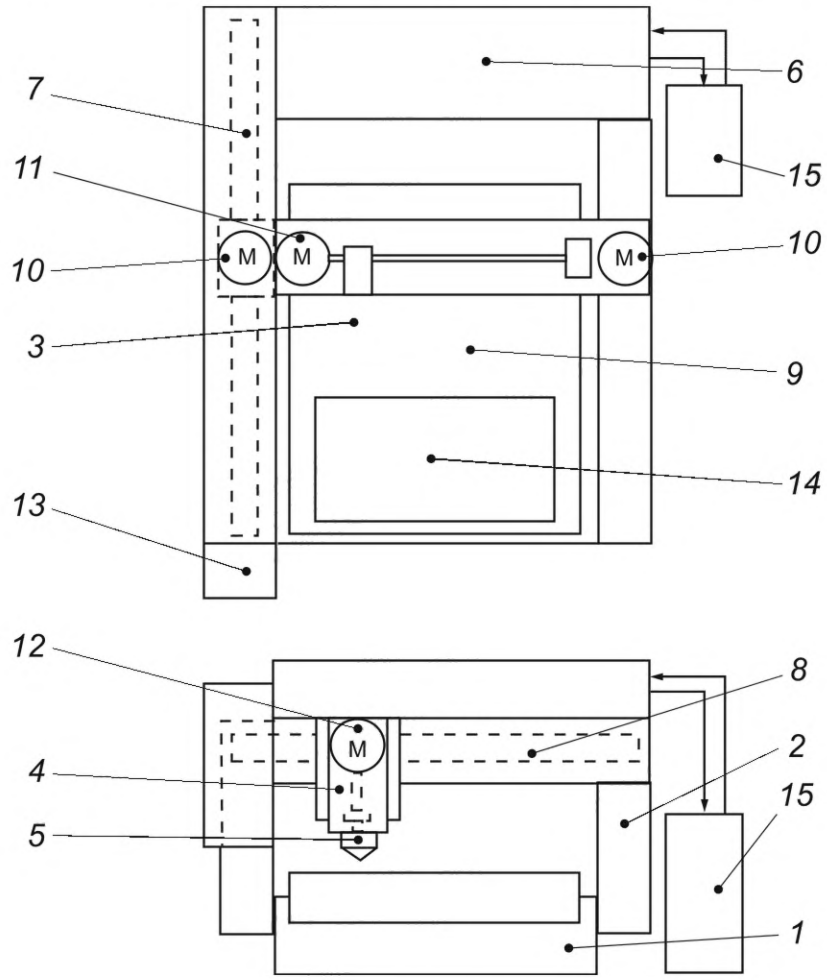
[a] Включая блоки ЧПУ и ПЛК.

Приложение Е
(справочное)

Станки для лазерной обработки

Е.1 Пример станка для лазерной обработки

На рисунке Е.1 показан пример станка для лазерной обработки (лазерный станок с плавающей оптикой).



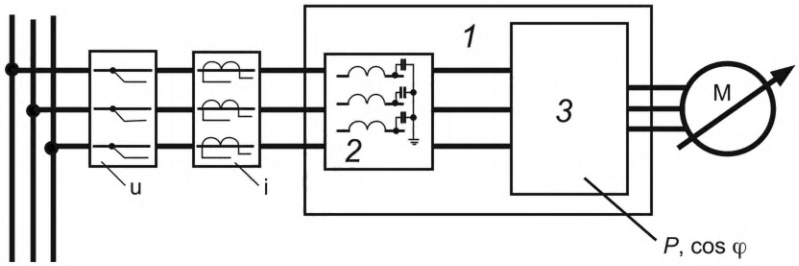
1 — рама; *2* — каретка X; *3* — каретка Y; *4* — ось *Z*; *5* — обрабатывающая головка; *6* — генератор; *7* — оптический путь X; *8* — оптический путь Y; *9* — сменный стол; *10* — двигатель по оси *X*; *11* — двигатель по оси *Y*; *12* — двигатель по оси *Z*; *13* — блок ЧПУ; *14* — заготовка; *15* — блок охлаждения

Рисунок Е.1 — Пример станка для лазерной обработки с плавающей оптикой

Е.2 Измерение мощности на станке для лазерной обработки с плавающей оптикой

Е.2.1 Общие сведения

Пример типового привода станка для лазерной обработки с плавающей оптикой приведен на рисунке Е.2.



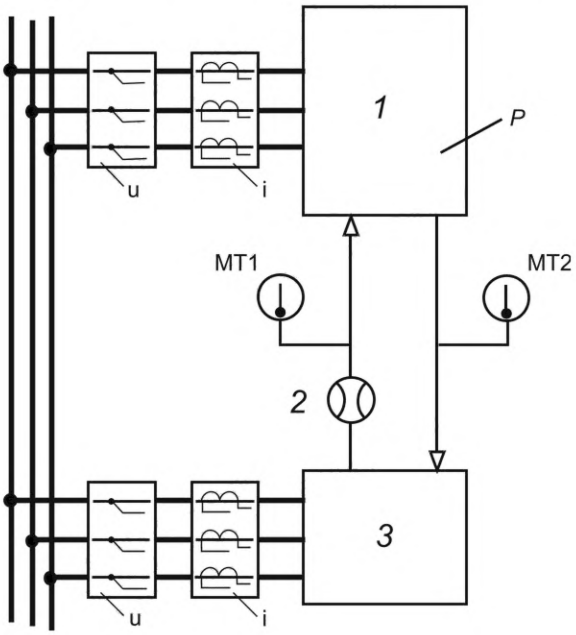
1 — инверторная система для двигателя привода оси; *2* — линейный фильтр и линейный реактор; *3* — инвертор (с функцией измерения мощности); u — точка измерения напряжения; i — точка измерения тока; *P*, cos*φ* — значения, измеренные инвертором

Рисунок Е.2 — Пример двигателя привода оси

Поскольку все компоненты, такие как оси *X*, *Y* и *Z*, приведены в движение соответствующими двигателями посредством механических передач, мощность каждого двигателя соответствует требуемой мощности.

Если преобразователь обеспечивает измерение входной мощности и фазового угла, можно использовать эти значения.

Пример типового генератора и блока охлаждения приведен на рисунке Е.3.



1 — генератор; *2* — расходомер; *3* — охладитель; i — точка измерения тока; u — точка измерения напряжения; *P* — выходная мощность, измеряемая генератором; MT1, MT2 — точки измерения температуры

Рисунок Е.3 — Установка для измерения электрической мощности генератора и блока охлаждения

Для поддержания стабильной мощности генератора тепло, вырабатываемое генератором, охлаждается блоком охлаждения. Таким образом, мощность охлаждения подается от блока охлаждения к генератору. Мощность охлаждения — значительная часть мощности, подаваемой на весь станок для лазерной обработки, которой не следует пренебрегать и которую следует измерять.

На входе генератора к подаваемой электрической мощности добавляется мощность охлаждения. Мощность охлаждения рассчитывают путем измерения температуры в потоке охлаждающей жидкости и на входе и выходе генератора по формуле

$$P_{coolel} = (T_{OsciOut} - T_{OsciIn}) \cdot m_c \cdot \gamma \cdot \beta, \quad (E.1)$$

где P_{coolel} — электрическая мощность, необходимая для охлаждения, Вт;

$T_{OsciOut}$ — температура охлаждающей жидкости в точке MT2, К;

T_{OsciIn} — температура охлаждающей жидкости в точке MT1, К;

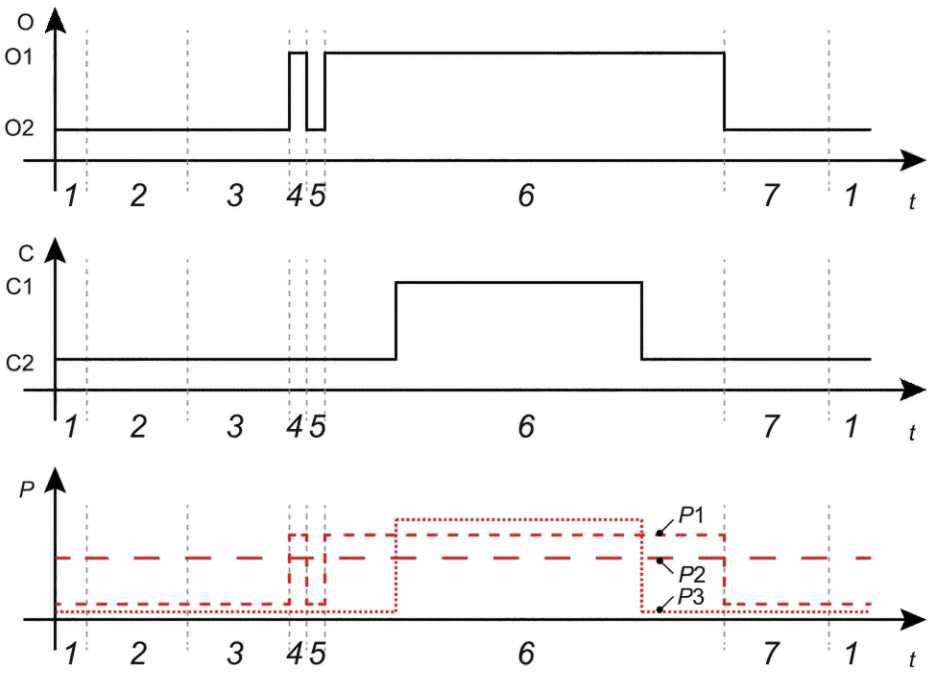
m_c — массовый расход охлаждающей жидкости за единицу времени, кг/с;

γ — удельная теплоемкость охлаждающей жидкости, Дж/(кг·К);

β — коэффициент преобразования теплотворной способности в мощность [1].

Если мощность лазерного луча от генератора измеряется оптическим способом и отображается с помощью генератора, то можно использовать ее значение.

На вход блока охлаждения подается электрическая мощность (далее — мощность блока охлаждения), а на выход — мощность охлаждения, подаваемая на генератор (см. рисунок Е.4).



1 — действие на станке 1: «Режим ожидания».
2 — действие на станке 2: позиционирование по осям *X* и *Y*.
3 — действие на станке 3: опускание по оси *Z*.
4 — действие на станке 4: прокалывание.
5 — действие на станке 5: переключение режима на резку.
6 — действие на станке 6: резка.
7 — действие на станке 7: возврат по оси *Z*.

O — генератор; O1 — генератор в работе; O2 — генератор в режиме ожидания; C — охладитель; C1 — охладитель охлаждает; C2 — охладитель ожидает; *P* — мощность; *P*1 — преобразованная мощность охладителя; *P*2 — средняя мощность охладителя; *P*3 — мощность охладителя; *t* — время

Рисунок Е.4 — Преобразованная мощность блока охлаждения во время работы генератора

$$P_{convChill.} = P_{aveChill.} \cdot \frac{t_{total}}{t_{Osci.}}, \quad (E.2)$$

где $P_{convChill.}$ — преобразованная мощность блока охлаждения во время работы генератора (преобразование пропорционального деления), Вт;

$P_{aveChill.}$ — средняя мощность блока охлаждения за все время измерения, Вт;

t_{total} — общее время измерения, с;

$t_{Osci.}$ — время генерирования колебаний, с.

Кроме того, мощность охлаждения и среднюю мощность охлаждения определяют на основе вышеуказанных измерений, а преобразованную мощность охлаждения во время колебания вычисляют с помощью того же пропорционального деления.

Пример типовой мощности станка для лазерной обработки с плавающей оптикой приведен на рисунке Е.5.

Е.2.2 Мощность в режиме ожидания (MT, действие 1)

При этом действии измеряется мощность на холостом ходу, а коэффициент энергоэффективности равен нулю.

Е.2.3 Мощность при позиционировании по осям *X* и *Y* (MT, действие 2)

Обрабатывающая головка (*5*) перемещается горизонтально с помощью двигателя по оси *X* через каретку по оси *X* (*2*) и одновременно перемещается в исходное положение обработки горизонтально с помощью двигателя по оси *Y* через каретку по оси *Y* (*3*). Измеряемая мощность представляет собой мощность двигателя по оси *X* и двигателя по оси *Y*.

Е.2.4 Мощность для опускания и возврата по оси *Z* (MT, действия 3 и 7)

При действии 3 на станке перемещение осей *X* и *Y* завершено, и обрабатывающая головка опускается в положение обработки перпендикулярно с помощью двигателя по оси *Z*.

При действии 7 на станке обрабатывающая головка поднимается в исходное положение из положения обработки с помощью двигателя по оси *Z*.

Мощность, измеряемая при выполнении этих действий на станке, равна мощности двигателя по оси *Z*.

Е.2.5 Мощность при прокалывании (MT, действие 4)

Перемещения по осям *X*, *Y* и *Z* завершены, и станок готов к прокалыванию отверстий в заготовке. В этом состоянии лазер генерирует колебания с заданной мощностью и облучает заготовку для прокалывания в начальной точке резания. Решающими факторами, влияющими на мощность прокалывания, являются:

- толщина листа *T*;
- характеристики материала *k*;
- коэффициент процесса прокалывания *i* и т. д.

Измеряемая мощность — входная мощность генератора и мощность лазерного луча от генератора. Что касается мощности лазерного луча, можно использовать значения, измеренные и указанные с помощью генератора. Кроме того, мощность охлаждения подается на генератор от блока охлаждения. Также измеряют мощность, подаваемую на блок охлаждения (мощность блока охлаждения), и мощность для охлаждения генератора.

Как показано на рисунке Е.4, колебания генератора и работа блока охлаждения происходят асинхронно. Блок охлаждения включается при достижении установленного верхнего предела температуры охлаждающей жидкости и выключается при достижении установленного нижнего предела. По этой причине для расчета мощности блока охлаждения во время лазерной обработки (во время колебаний) измеряется средняя мощность блока охлаждения за время измерения и требуется корректировка с учетом времени колебаний и пропорционального деления [см. рисунок Е.3 и формулу (Е.2)].

Для определения энергоэффективности генератора и блока охлаждения независимо друг от друга измеряют мощность охлаждения, подаваемую на генератор от блока охлаждения. Мощность охлаждения рассчитывают на основе величины потока охлаждающей жидкости и измерения температуры между входным и выходным портами генератора [см. рисунок Е.3 и формулу (Е.1)].

Кроме того, с мощностью охлаждения на основе вышеуказанных измерений определяется средняя мощность охлаждения и может быть рассчитано преобразование пропорционального деления в зависимости от времени колебания.

Входными сигналами только генератора являются мощность источника питания и мощность охлаждения, а выходными — мощность лазерного луча.

Е.2.6 Мощность для переключения режима на резку (MT, действие 5)

Прошивка завершена, и, следовательно, режим работы генератора и технологического газа изменен для резки. Питание лазера отключено.

Е.2.7 Мощность для резки (MT, действие 6)

Лазерную резку выполняют путем перемещения по осям *X* и *Y*. Решающими факторами, влияющими на мощность лазерной обработки, являются:

- скорость резки *v*;
- толщина листа *T*;
- характеристики материала *k*;
- коэффициент процесса резки *i* и т. д.

Измеряемая мощность представляет собой входную мощность генератора и мощность лазерного луча генератора. Что касается мощности лазерного луча, то можно использовать значения, измеренные и указанные генератором.

Поскольку мощность охлаждения подается на генератор от блока охлаждения, то мощность, подаваемую на блок охлаждения, измеряют вместе с мощностью охлаждения генератора. Мощность, подаваемая на блок охлаждения во время колебаний, и мощность охлаждения генератора определены в Е.2.5.

Мощность двигателей по осям *X* и *Y* измеряют отдельно.

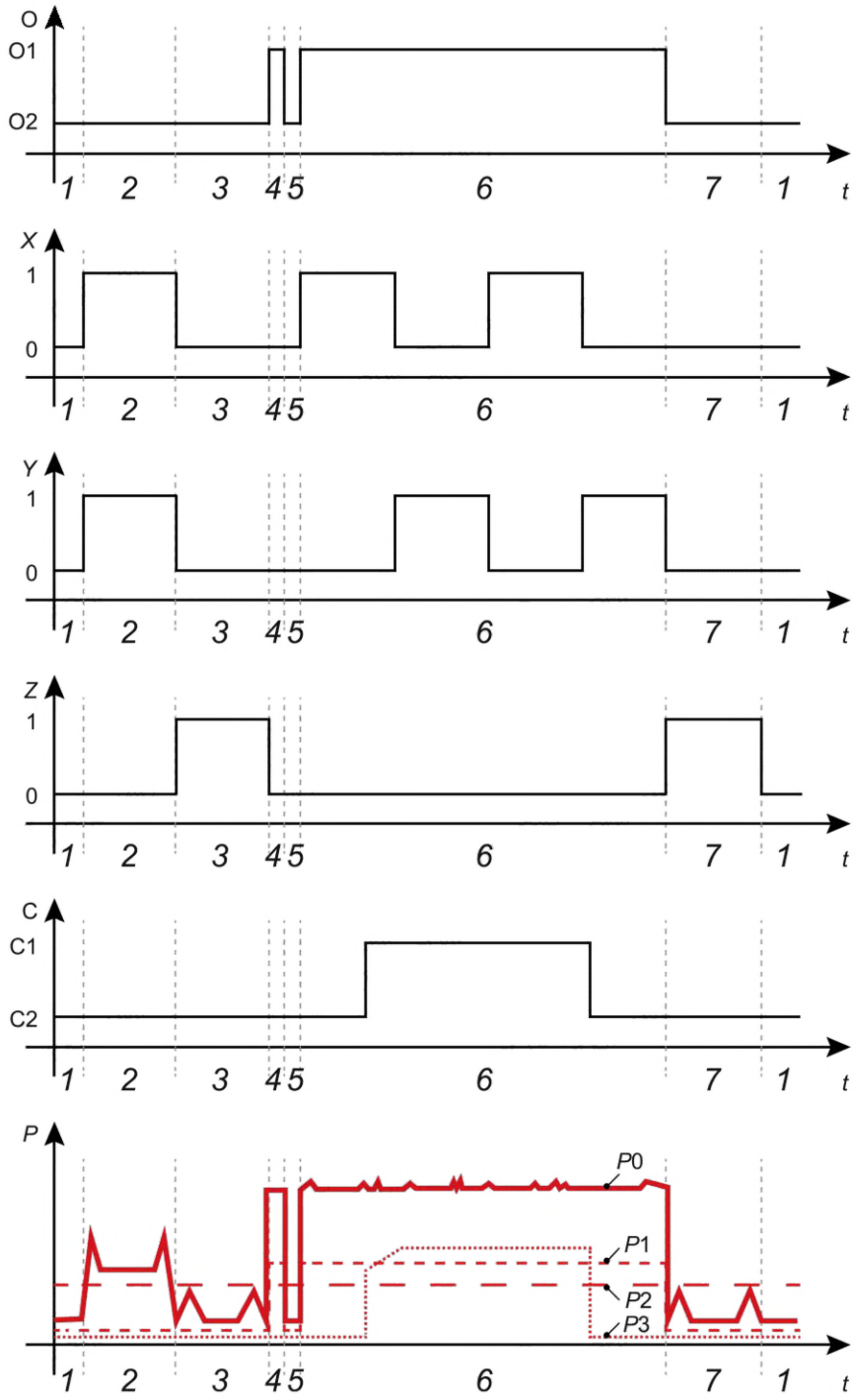
Е.3 Формулы для расчета энергии для станка для лазерной обработки

Е.3.1 Общие положения

Формула расчета, полученная в настоящем пункте, соответствует станку для лазерной обработки, приведенному в Е.2 (станок для лазерной обработки с плавающей оптикой), или содержит те же элементы.

Е.3.2 Действие на станке 1: режим ожидания

Система управления включена, оси инициализированы, генератор ожидает пуска, при этом на ось и генератор не подается соответствующая энергия.



1 — действие на станке 1: «Режим ожидания».
2 — действие на станке 2: позиционирование по осям *X* и *Y*.
3 — действие на станке 3: опускание по оси *Z*.
4 — действие на станке 4: прокалывание.
5 — действие на станке 5: переключение режима на резку.
6 — действие на станке 6: резка.
7 — действие на станке 7: возврат по оси *Z*.

O — генератор; O1 — генератор в работе; O2 — генератор в режиме ожидания; X — ось *X* активна; Y — ось *Y* активна; Z — ось *Z* активна; C — охладитель; C1 — охладитель охлаждает; C2 — охладитель ожидает; *P* — мощность; *P*0 — общая мощность (включая преобразованную мощность блока охлаждения); *P*1 — преобразованная мощность охладителя; *P*2 — средняя мощность охладителя; *P*3 — мощность охладителя; *t* — время

Рисунок Е.5 — Пример мощности в течение цикла работы лазерного обрабатывающего станка

Е.3.3 Действие на станке 2: позиционирование по осям *X* и *Y*

Оси *X* и *Y* перемещаются с помощью соответствующих двигателей в заданное заранее начальное положение обработки.

Энергию, подаваемую для позиционирования по оси *X*, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_X = W_{XAcc.} + W_{XUni.} + W_{XDec.}, \quad (E.3)$$

$$W_{XAcc.} = (F_{XAcc.} + F_{XWeight}) \cdot s_{XAcc.}, \quad (E.4)$$

$$W_{XUni.} = F_{XWeight} \cdot s_{XUni.}, \quad (E.5)$$

$$W_{XDec.} = (F_{XDec.} - F_{XWeight}) \cdot s_{XDec.}, \quad (E.6)$$

где W_X — энергия, необходимая для позиционирования по оси *X*, Дж;

$W_{XAcc.}$ — энергия, необходимая для ускорения по оси *X*, Дж;

$F_{XAcc.}$ — усилие, необходимое для ускорения по оси *X*, Н;

$F_{XWeight}$ — сила трения при перемещении по оси X, зависящая от веса компонентов станка, связанных с осью *X*, например каретки *X* (*2*), каретки *Y* (*3*), оси *Z* (*4*), обрабатывающей головки (*5*), оптического пути (*8*), двигателя по оси *X* (*10*), двигателя по оси *Y* (*11*), двигателя по оси *Z* (*12*) (приведенные обозначения позиций приведены на рисунке Е.1), Н;

$s_{XAcc.}$ — расстояние, пройденное по оси X при ускорении, м;

$W_{XUni.}$ — энергия, необходимая для равномерного перемещения по оси *X*, Дж;

$s_{XUni.}$ — расстояние, пройденное за время равномерного перемещения по оси *X*, м;

$W_{XDec.}$ — энергия, необходимая для замедления по оси *X*, Дж;

$F_{XDec.}$ — усилие, необходимое для замедления по оси *X*, Н;

$s_{XDec.}$ — расстояние, пройденное за время замедления по оси *X*, м.

Энергию, необходимую для позиционирования по оси *Y* в заранее указанное положение, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_Y = W_{YAcc.} + W_{YUni.} + W_{YDec.}, \quad (E.7)$$

$$W_{YAcc.} = (F_{YAcc.} + F_{YWeight}) \cdot s_{YAcc.}, \quad (E.8)$$

$$W_{YUni.} = F_{YWeight} \cdot s_{YUni.}, \quad (E.9)$$

$$W_{YDec.} = (F_{YDec.} - F_{YWeight}) \cdot s_{YDec.}, \quad (E.10)$$

где W_Y — энергия, необходимая для позиционирования по оси *Y*, Дж;

$W_{YAcc.}$ — энергия, необходимая для ускорения по оси *Y*, Дж;

$F_{YAcc.}$ — усилие, необходимое для ускорения по оси *Y*, Н;

$F_{YWeight}$ — сила трения при перемещении по оси *Y*, зависящая от веса компонентов станка, связанных с осью *Y*, например каретки Y (*3*), оси *Z* (*4*), обрабатывающей головки (*5*), двигателя по оси *Y* (*11*), двигателя по оси *Z* (*12*) (приведенные обозначения позиций на рисунке Е.1), Н;

$s_{YAcc.}$ — расстояние, пройденное по оси *Y* при ускорении, м;

$W_{YUni.}$ — энергия, необходимая для равномерного перемещения по оси *Y*, Дж;

$s_{YUni.}$ — расстояние, пройденное за время равномерного перемещения по оси *Y*, м;

$W_{YDec.}$ — энергия, необходимая для замедления по оси *Y*, Дж;

$F_{YDec.}$ — усилие, необходимое для замедления по оси *Y*, Н;

$s_{YDec.}$ — расстояние, пройденное за время замедления по оси *Y*, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{XY} = \frac{W_X + W_Y}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (E.11)$$

где η_{XY} — коэффициент энергоэффективности при позиционировании по осям X и Y [1];

W_X — энергия, необходимая для позиционирования по оси *X*, Дж;

W_Y — энергия, необходимая для позиционирования по оси *Y*, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Если каждый двигатель оснащен системой рекуперации, энергия торможения по осям *X* и *Y* может быть восстановлена.

Е.3.4 Действие на станке 3: спуск и возврат по оси Z

При действии 3 на станке ось *Z* опускается с помощью двигателя по оси *Z* в заранее заданное положение. При действии станка 7 ось *Z* возвращается с помощью двигателя по оси *Z* в заранее заданное положение. Энергию, подаваемую для позиционирования по оси *Z*, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_Z = W_{ZAcc.} + W_{ZUni.} + W_{ZDec.}, \quad (E.12)$$

$$W_{ZAcc.} = (F_{ZAcc.} + F_{ZWeight}) \cdot s_{ZAcc.}, \quad (E.13)$$

$$W_{ZUni.} = F_{ZWeight} \cdot s_{ZUni.}, \quad (E.14)$$

$$W_{ZDec.} = (F_{ZDec.} - F_{ZWeight}) \cdot s_{ZDec.}, \quad (E.15)$$

где W_Z — энергия, необходимая для позиционирования по оси *Z*, Дж;

$W_{ZAcc.}$ — энергия, необходимая для ускорения по оси *Z*, Дж;

$F_{ZAcc.}$ — усилие, необходимое для ускорения по оси *Z*, Н;

$F_{ZWeight}$ — усилие, необходимое для перемещения по оси *Z*, зависящее от массы компонентов станка, связанных с осью *Z*, например обрабатывающей головки (*5*). Значения $F_{ZWeight}$ различаются в зависимости от действий станка 3 и действий станка 7. При действии станка 3 $F_{ZWeight}$ может быть отрицательным (приведенные обозначения позиций на рисунке Е.1), Н;

$s_{ZAcc.}$ — расстояние, пройденное по оси *Z* при ускорении, м;

$W_{ZUni.}$ — энергия, необходимая для равномерного перемещения по оси *Z*, Дж;

$s_{ZUni.}$ — расстояние, пройденное за время равномерного перемещения по оси *Z*, м;

$W_{ZDec.}$ — энергия, необходимая для замедления по оси *Z*, Дж;

$F_{ZDec.}$ — усилие, необходимое для замедления по оси *Z*, Н;

$s_{ZDec.}$ — расстояние, пройденное за время замедления по оси *Z*, м.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_Z = \frac{W_Z}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (E.16)$$

где η_Z — коэффициент энергоэффективности при позиционировании по оси *Z*. При действиях на станке 3 и 7 коэффициент энергоэффективности имеет разные значения [1];

W_Z — энергия, необходимая для позиционирования по оси *Z*, Дж;

$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Если двигатель по оси *Z* оснащен системой регенерации, энергия торможения по оси *Z* может быть восстановлена.

Е.3.5 Действие на станке 4: прокалывание

Состояние, при котором обработка выполняется лазерным лучом в течение заданного времени облучения для прокалывания (растачивания).

Энергию, подаваемую для прокалывания, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{Piercing} = W_{OsciPiercing}, \quad (E.17)$$

$$W_{OsciPiercing} = P_{OsciPiercing} \cdot t_{Piercing}, \quad (E.18)$$

где $W_{Piercing}$ — энергия, необходимая для прокалывания, Дж;

$W_{OsciPiercing}$ — энергия, необходимая для лазерного луча во время прокалывания, Дж;

$P_{OsciPiercing}$ — средняя мощность, подаваемая на лазерный луч во время прокалывания, Вт;

$t_{Piercing,}$ — время, необходимое для прокалывания, с.

Энергию, подаваемую на границу системы для действия на станке, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{SysBoundMTa} = W_{\frac{SysBoundW}{Ochill.}} + W_{ChillPiercing}, \quad (E.19)$$

$$W_{ChillPiercing} = P_{ConvChill.} \cdot t_{Piercing}, \quad (E.20)$$

где $W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж;

$W_{\frac{SysBoundW}{Ochill.}}$ — энергия, необходимая при действии на станке, без учета энергии, подаваемой в блок охлаждения на границу системы, Дж;

$W_{ChillPiercing}$ — преобразованная энергия, необходимая для работы блока охлаждения при действии на станке, Дж;

$P_{ConvChill.}$ — преобразованная мощность, подаваемая на блок охлаждения во время колебаний, Вт;

$t_{Piercing,}$ — время, необходимое для прокалывания, с.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Piercing} = \frac{W_{Piercing}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (E.21)$$

где $\eta_{Piercing}$ — коэффициент энергоэффективности во время прокалывания [1];
$W_{Piercing}$ — энергия, необходимая для прокалывания, Дж;
$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Е.3.6 Действие на станке 5: переключение режима на резку

Прошивка завершена, мощность в состояниях, которые изменяют режимы генератора и подачи газа для лазерной резки, не передается.

Коэффициент энергоэффективности равен нулю.

Е.3.7 Действие на станке 6: резка

Состояние, при котором выполняется обработка лазерным лучом с заданной мощностью лазера для резки при перемещении лазерного луча по осям *X* и *Y*.

Энергию, подаваемую для резки, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{Cutting} = W_{OsciCutting} + W_{XCutting} + W_{YCutting}, \quad (E.22)$$

$$W_{OsciCutting} = P_{OsciCutting} \cdot t_{Cutting}, \quad (E.23)$$

$$W_{XCutting} = F_{XWeight} \cdot s_{XCutting}, \quad (E.24)$$

$$W_{YCutting} = F_{YWeight} \cdot s_{YCutting}, \quad (E.25)$$

где $W_{Cutting}$ — энергия, необходимая для резки, Дж;
$W_{OsciCutting}$ — энергия, необходимая для лазерного луча во время резки, Дж;
$W_{XCutting}$ — энергия, необходимая для перемещения по оси *X* во время резки, Дж;
$W_{YCutting}$ — энергия, необходимая для перемещения по оси *Y* во время резки, Дж;
$P_{OsciCutting}$ — средняя мощность, подаваемая на лазерный луч во время резки, Вт;
$t_{Cutting}$ — время, необходимое для резки, с;
$F_{XWeight}$ — сила трения при перемещении по оси *X*, зависящая от веса компонентов станка, связанных с осью *X*, например: каретки X (*2*), каретки Y (*3*), оси *Z* (*4*), обрабатывающей головки (*5*), оптического пути (*8*), двигателя по оси *X* (*10*), двигателя по оси *Y* (*11*), двигателя по оси *Z* (*12*) (приведенные обозначения позиций на рисунке Е.1), Н;
$s_{XCutting}$ — общее расстояние перемещения по оси *X* за время резки, м;
$F_{YWeight}$ — сила трения при перемещении по оси *Y*, зависящая от массы компонентов станка, связанных с осью *Y*, например: каретки Y (*3*), оси *Z* (*4*), обрабатывающей головки (*5*), двигателя по оси *Y* (*11*), двигателя по оси *Z* (*12*) (приведенные обозначения позиций на рисунке Е.1), Н;
$s_{YCutting}$ — общее расстояние перемещения по оси *Y* за время резки, м.

Энергию, подаваемую на границу системы при действии на станке, рассчитывают по следующим формулам:

$$W_{SysBoundMTa} = W_{\frac{SysBoundW}{Ochill.Cutting}} + W_{ChillCutting}, \quad (E.26)$$

$$W_{ChillCutting} = P_{ConvChill.} \cdot t_{Cutting}, \quad (E.27)$$

где $W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж;
$W_{\frac{SysBoundW}{Ochill.Cutting}}$ — энергия, необходимая при действии на станке, без учета энергии, подаваемой в блок охлаждения на границе системы, Дж;
$W_{ChillCutting}$ — преобразованная энергия, необходимая для работы блока охлаждения при действии на станке, Дж;
$P_{ConvChill.}$ — преобразованная мощность, подаваемая на блок охлаждения во время колебаний, Вт;
$t_{Cutting}$ — время, требуемое для резки, с.

Коэффициент энергоэффективности при действии на станке рассчитывают по формуле

$$\eta_{Cutting} = \frac{W_{Cutting}}{W_{SysBoundMTa}}, \quad (E.28)$$

где $\eta_{Cutting}$ — коэффициент энергоэффективности во время резки [1];
$W_{Cutting}$ — энергия, необходимая для резки, Дж;
$W_{SysBoundMTa}$ — энергия, подаваемая на границу системы при действии на станке, Дж.

Е.4 Количественное функциональное отображение для лазерного обрабатывающего станка

Пример функционального отображения для лазерного обрабатывающего станка приведен в таблице Е.1.

Таблица Е.1 — Пример количественного функционального отображения

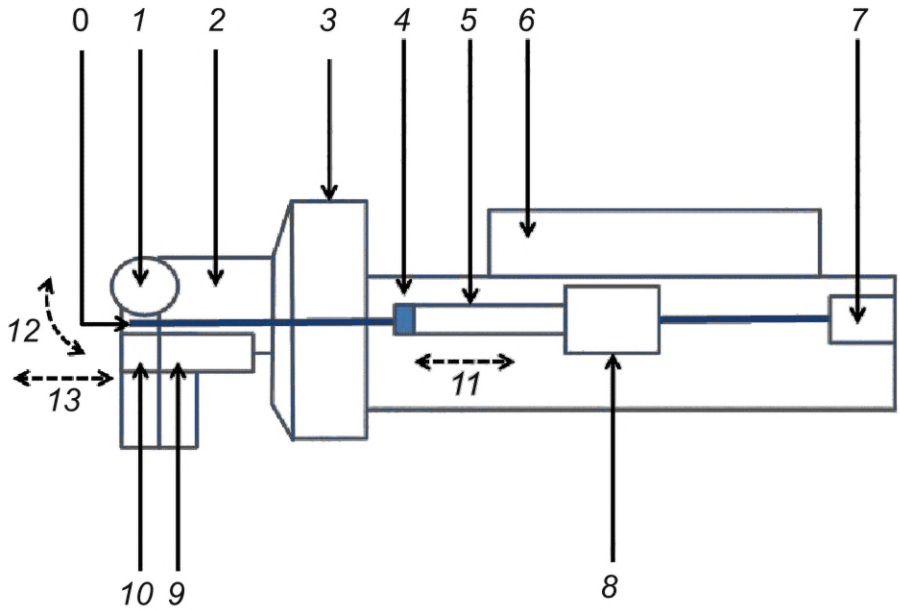
		Функции станка					
		Действия на станке (механическая обработка, технологические процессы, перемещение и управление)	Процесс кондиционирования	Обработка заготовок	Смена инструмента	Материалы для вторичной переработки и обращения с отходами	Охлаждение/смазка станка
Компоненты станка	Компоненты управления[a]	85 %		5 %	5 %		5 %
	Генератор	95 %			5 %		
	Двигатель по оси *X*	95 %			5 %		
	Двигатель по оси *Y*	95 %			5 %		
	Двигатель по оси *Z*	95 %			5 %		
	Блок охлаждения						100 %
	Пылеуловитель					100 %	
[a] Включая блоки ЧПУ и ПЛК.							

Приложение F
(справочное)

Трубогибочный станок

F.1 Пример трубогибочного станка

На рисунке F.1 показан пример трубогибочного станка (полностью электрического).



0 — заготовка (труба); *1* — гибочный ролик; *2* — зажимная головка; *3* — основание станка; *4* — патрон с контрольным упором; *5* — опора трубы и стержень оправки; *6* — электрический шкаф; *7* — каретка для извлечения оправки; *8* — каретка по осям *X*1/*Z*1 (оси позиционирования труб); *9* — пресс-форма; *10* — ползун зажима; *11* — ось подачи трубы; *12* — ось гибочного ролика; *13* — продольная ось зажима

Рисунок F.1 — Пример полностью электрического трубогибочного станка

Трубогибочные станки оснащены несколькими осями с контролируемым движением, которые используются для перемещения трубы и принадлежностей (например, стержня оправки). Оси, применяемые для перемещения и ориентации заготовки между последовательными изгибами, называются «оси позиционирования»: те оси, движение которых приводит к искривлению трубы с заданным радиусом, — «оси изгиба»; остальные оси, используемые для ограничения движения трубы, — «оси зажима». Определение осей изгиба зависит от выбранной стратегии изгиба и может изменяться в зависимости от действий на станке:

- вытяжной изгиб: оси *12* и *13*;
- вытяжной изгиб + усилитель: оси *11*, *12* и *13*;
- гибка сжатием: ось *12*;
- гибка валками (гибка в вальцах): ось *11* (нумерация осей указана на рисунке F.1).

В протоколе испытаний должны быть указаны параметры позиционирования, зажима и изгиба для каждой доступной стратегии изгиба.

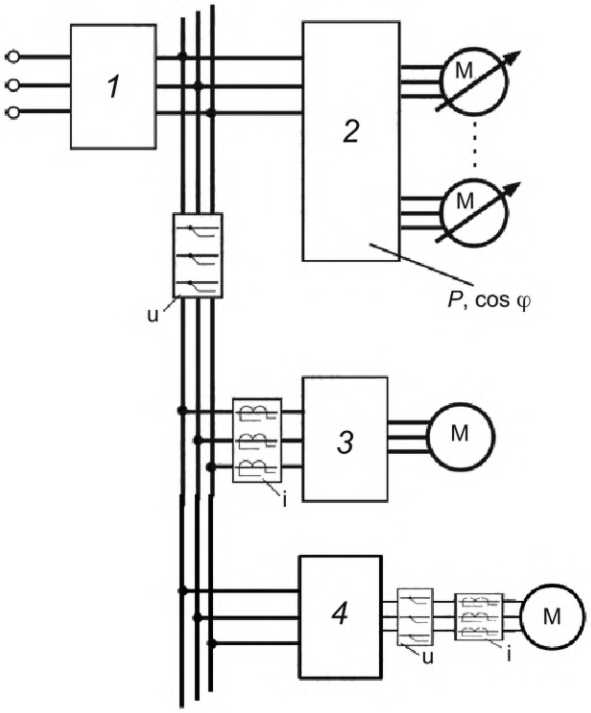
F.2 Измерение мощности полностью электрического трубогибочного станка

F.2.1 Общие положения

Пример типового блока привода полностью электрического трубогибочного станка приведен на рисунке F.2.

В полностью электрических трубогибочных станках все перемещения выполняются соответствующими электродвигателями. Энергетическая значимость каждой оси для конкретной операции изгиба может быть подтверждена экспериментальными измерениями или экспертной оценкой.

Если инвертор обеспечивает измерение входной мощности, можно использовать это значение. Источник измеренных данных должен быть указан в протоколе испытаний.



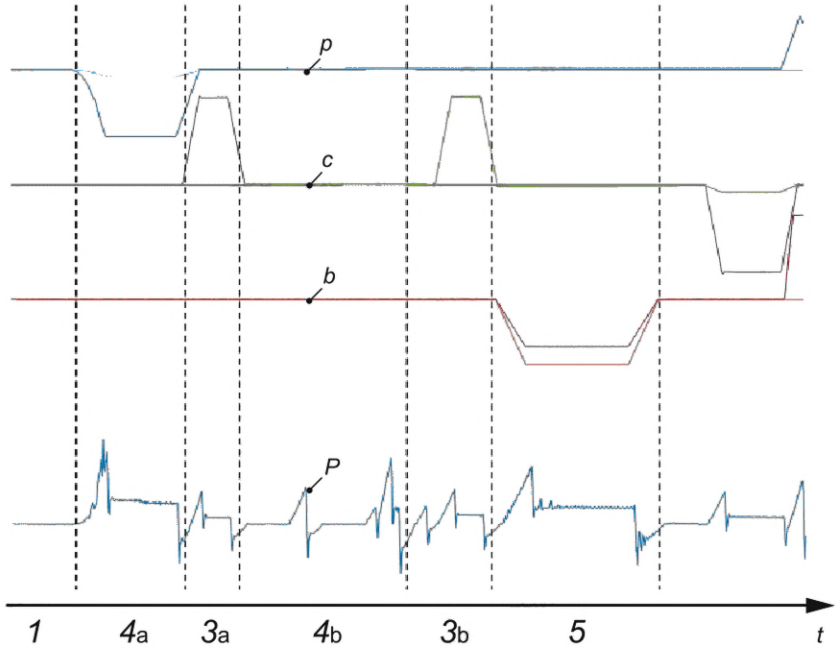
1 — линейный фильтр и линейный реактор; *2* — инверторная система (с возможностью измерения мощности); *3* — инверторная система; *4* — инверторная система; u — точка измерения напряжения; *P*, cos *φ* — значения, измеряемые инвертором; I — точка измерения тока; P — высокочастотный измеритель мощности, установленный между инвертором и двигателем

Рисунок F.2 — Пример блока привода полностью электрического трубогибочного станка

Если используется выходная мощность, рассчитанная приводом, она соответствует механической мощности, необходимой для перемещения по оси. Если электрическая мощность измеряется между приводом и двигателем (привод *4* на рисунке F.2), то при измерении также учитывают потери двигателя. Если входная мощность оценивается приводом (привод *2* на рисунке F.2) или электрическая мощность измеряется перед приводом (привод *3* на рисунке F.2), то в измеренную мощность также включаются потери привода.

Для каждого действия на станке мощность, используемую осями позиционирования+зажима и изгиба, следует измерять или оценивать с помощью сигналов, подаваемых системой числового программного управления (ЧПУ).

Пример типовой мощности в цикле изгиба приведен на рисунке F.3.



1 — действие на станке 1: «Режим ожидания».
*3*a — действие на станке 3a.
*3*b — действие на станке 3b.
*4*a — действие на станке 4a.
*4*b — действие на станке 4b.
5 — действие на станке 5.

p — скорость позиционирования оси; *c* — скорость оси зажима; *b* — скорость оси изгиба; *P* — мощность; *t* — время

Рисунок F.3 — Пример мощности полностью электрического трубогибочного станка

Примечание — Действия на станках могут частично совпадать.

F.2.2 Мощность в режиме ожидания (MT, действие 1)

При этом действии станок ожидает сигнала пуска. Оси находятся в неподвижном состоянии. Измеряемая мощность соответствует мощности холостого хода. Энергоэффективность равна нулю.

F.2.3 Энергия для загрузки труб (MT, действие 2)

Это действие выполняется, если станок оснащен автоматической системой загрузки труб. При этом действии труба загружается на станок и зажимается на контрольном упоре. Соответствующая энергия, используемая для загрузки одной трубы, получается путем интегрирования измеренной мощности в течение всего периода загрузки.

F.2.4 Мощность для зажима трубы (MT, действие 3)

При этом действии труба зажимается. Мощность измеряется на осях зажима с помощью самого привода или внешнего измерителя мощности, установленного между приводом и двигателем по оси.

F.2.5 Мощность для позиционирования трубы (MT, действие 4)

При этом действии труба перемещается в исходное положение, необходимое для выполнения следующей операции изгиба. Эта операция будет проводиться перед каждым изгибом. Мощность измеряют на осях позиционирования самим приводом или внешним измерителем мощности, установленным между приводом и двигателем по оси.

F.2.6 Мощность для изгиба труб (MT, действие 5)

При этом действии трубу подвергают пластической деформации под действием осей изгиба. Мощность измеряют на осях изгиба самим приводом или внешним измерителем мощности, установленным между приводом и двигателем по оси.

F.3 Уравнения для расчета энергии полностью электрического трубогибочного станка

F.3.1 Общие положения

Формулы в разделе F.3 применимы к полностью электрическому трубогибочному станку, приведенному в F.2. Они описывают взаимосвязи между мощностью, перемещением оси и станком. Потерями в двигателе и приводе можно пренебречь.

F.3.2 Действие на станке 1: режим ожидания

Все элементы станка находятся в неподвижном состоянии. Энергоэффективность равна нулю.

F.3.3 Действие на станке 2: загрузка труб

Если трубогибочный станок оснащен автоматизированной системой загрузки труб, труба извлекается из хранилища труб и перемещается в положение внутри трубогибочного станка, где ее может зафиксировать система зажима труб.

Энергию и время, необходимые для выполнения данных действий, измеряют на уровне станка.

F.3.4 Действие на станке 3: зажим трубы

В зависимости от стратегии изгиба различные штампы перемещаются по соответствующим осям зажима, чтобы зафиксировать трубу. Мощность измеряется на осях зажима с помощью самого привода или внешнего измерителя мощности, установленного между приводом и осевым двигателем.

F.3.5 Действие на станке 4: позиционирование трубы

Состояние, при котором заготовка устанавливается в заданное положение как с точки зрения линейного, так и углового перемещения.

Энергию, необходимую для приведения в действие оси позиционирования (например, оси *X*), рассчитывают по следующим формулам:

$$W_X = W_{X\text{Acc.}} + W_{X\text{Uni.}} + W_{X\text{Dec.}}, \quad \text{(F.1)}$$

$$W_{X\text{Acc.}} = (F_{X\text{Acc.}} + F_{X\text{Frict.}}) \cdot s_{X\text{Acc.}}, \quad \text{(F.2)}$$

$$W_{X\text{Uni.}} = F_{X\text{Frict.}} \cdot s_{X\text{Uni.}}, \quad \text{(F.3)}$$

$$W_{X\text{Dec.}} = (F_{X\text{Dec.}} - F_{X\text{Frict.}}) \cdot s_{X\text{Dec.}}, \quad \text{(F.4)}$$

где W_X — энергия, необходимая для позиционирования по оси *X*, Дж;

$W_{X\text{Acc.}}$ — энергия, необходимая для ускорения по оси *X*, Дж;

$F_{X\text{Acc.}}$ — усилие, необходимое для ускорения по оси *X*, Н;

$F_{X\text{Frict.}}$ — сила трения при перемещении по оси *X*, зависящая от кинематической цепи оси и массы, перемещаемых по оси *X*, например: каретки (*8*), цанги (*4*), заготовки (0) (приведенные обозначения позиций на рисунке F.1), Н;

$s_{X\text{Acc.}}$ — расстояние, пройденное по оси X при ускорении, м;

$W_{X\text{Uni.}}$ — энергия, необходимая для равномерного перемещения по оси *X*, Дж;

$s_{X\text{Uni.}}$ — расстояние, пройденное за время равномерного перемещения по оси *X*, м;

$W_{X\text{Dec.}}$ — энергия, необходимая для замедления по оси *X*, Дж;

$F_{X\text{Dec.}}$ — усилие, необходимое для замедления по оси *X*, Н;

$s_{X\text{Dec.}}$ — расстояние, пройденное за время замедления по оси *X*, м.

Рекуперация энергии во время торможения возможна только при использовании рекуперативного привода.

F.3.6 Действие на станке 5: изгиб трубы

Изгиб трубы проводится соответствующим синхронизированным движением осей изгиба в зависимости от принятой стратегии изгиба, например путем вытяжки или сжатия.

Энергию, требуемую для оси изгиба (т. е. оси *12* на рисунке F.1), определяют по следующим формулам:

$$W_{12} = W_{12\text{Acc.}} + W_{12\text{Uni.}} + W_{12\text{Dec.}} + W_{12\text{Bending}}, \quad \text{(F.5)}$$

$$W_{12\text{Acc.}} = \left(T_{12\text{Acc.}} + T_{12\text{Frict}}\right) \cdot \Theta_{12\text{Acc.}}, \quad \text{(F.6)}$$

$$W_{12\text{Uni.}} = T_{12\text{Frict.}} \cdot \Theta_{12\text{Uni.}}, \quad \text{(F.7)}$$

$$W_{12\text{Dec.}} = \left(T_{12\text{Dec}} - T_{12\text{Frict}}\right) \cdot \Theta_{12\text{Dec.}}, \quad \text{(F.8)}$$

где W_{12} — энергия, необходимая для основной оси изгиба *12*, Дж;

$W_{12\text{Acc.}}$ — энергия, необходимая для оси изгиба *12* при ускорении, Дж;

$W_{12\text{Uni.}}$ — энергия, необходимая для равномерного перемещения основной оси изгиба, Дж;

$W_{12\text{Dec.}}$ — энергия, необходимая для оси изгиба *12* во время замедления, Дж;

$W_{12\text{Bending}}$ — энергия, необходимая для оси изгиба *12*, Дж;

$T_{12\text{Acc.}}$ — крутящий момент, необходимый для ускорения по оси *12*, Н·м;

$T_{12\text{Frict}}$ — момент трения, действующий на ось *12*, зависящий от массы перемещаемых масс (например, гибочного ролика), уплотнений и силы трения при механическом перемещении, Н·м;

$T_{12\text{Dec.}}$ — крутящий момент, необходимый для оси изгиба *12* во время замедления, Н·м;

$\Theta_{12\text{Acc.}}$ — угол поворота оси изгиба *12* во время ускорения [1];

$\Theta_{12\text{Uni.}}$ — угол поворота оси изгиба *12* при равномерном перемещении [1];

$\Theta_{12\text{Dec.}}$ — угол поворота оси изгиба *12* при замедлении [1].

Энергию, необходимую для изгиба, рассчитывают по формуле

$$W_{12\text{Bending}} = T_{12\text{Bending}} \cdot \Theta_{12\text{Bending}}, \quad \text{(F.9)}$$

где $W_{12\text{Bending}}$ — энергия, необходимая для оси изгиба *12*, Дж;

$T_{12\text{Bending}}$ — крутящий момент, необходимый для изгиба, который зависит от геометрии трубы и материала, радиуса изгиба, геометрии матрицы и смазки, Н·м;

$\Theta_{12\text{Bending}}$ — угол изгиба, охватываемый осью *12* [1].

Коэффициент энергоэффективности при изгибе рассчитывают по формуле

$$\eta_{\text{Bending}} = \frac{W_{\text{TotalBending}}}{W_{\text{SysBoundMTa}}}, \quad \text{(F.10)}$$

где η_{Bending} — коэффициент энергоэффективности при изгибе [1];

$W_{\text{TotalBending}}$ — общая энергия, необходимая для всех осей при изгибе, Дж;

$W_{\text{SysBoundMTa}}$ — энергия, подаваемая на границе системы при действии на станке, Дж.

Рекуперация энергии во время торможения и сжатия возможна только при использовании рекуперативного привода.

F.4 Количественное функциональное отображение для полностью электрического трубогибочного станка

Пример функционального отображения для полностью электрического трубогибочного станка приведен в таблице F.1.

Таблица F.1 — Пример количественного функционального отображения

		Функции станка					
		Действия на станке (механическая обработка, технологические процессы, перемещение и управление)	Процесс кондиционирования	Обработка заготовок	Смена инструмента [b]	Материалы для вторичной переработки и обращения с отходами	Охлаждение/смазка станка
Компоненты станка	Компоненты управления[a]	85 %		10 %			5 %
	Погрузчик труб			100 %			
	Ось зажима	70 %		30 %			
	Ось позиционирования	90 %		10 %			
	Ось изгиба	100 %					
	Камера для кондиционирования воздуха						100 %

[a] Включая блоки ЧПУ и ПЛК.

[b] Смена инструмента обычно выполняется вручную.

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 14955-1	IDT	ГОСТ Р ИСО 14955-1—2025 «Станки. Оценка условий окружающей среды для станков. Часть 1. Методология проектирования энергосберегающих станков»
ISO 14955-2:2018	IDT	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»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - IDT — идентичные стандарты.		

Библиография

[1] ISO 16092-1:2017 Machine tools safety — Presses — Part 1: General safety requirements

[2] EN 12622:2009 Safety of machine tools — Hydraulic press brakes

[3] IEC 60204-1:2014 Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements

[4] JIS G3101: 2010 Rolled steels for general structure

[5] JIS G3141: 2005 Cold-reduced carbon steel sheets and strips

[6] EN 10027-1:2005 Designation systems for steels — Part 1: Steel names and principal symbols

[7] EN 10027-2:2015 Designation systems for steels — Part 2: Numerical system

УДК 621.9-504:006.354 ОКС 25.080

Ключевые слова: станки, окружающая среда, энергоэффективность, режимы работы, функции станка, компоненты станка, действия на станке, гидравлические прессы, механические прессы, гидравлические листогибочные прессы, револьверные штамповочные прессы, станки для лазерной обработки, трубогибочные станки

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 16.01.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,58.

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.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru