ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 15230— 2014

Вибрация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ В ОБЛАСТИ КОНТАКТА ЧЕЛОВЕКА С МАШИНОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ

ISO 15230:2007
Mechanical vibration — Coupling forces at the man-machine interface for hand-transmitted vibration
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 октября 2014 г. № 1424-ст.

4 Настоящий стандарт является идентичным по отношению к международному стандарту ИСО 15230:2007 «Вибрация. Определение сил в области контакта человека с машиной при воздействии локальной вибрации» (ISO 15230:2007 «Mechanical vibration – Coupling forces at the man-machine interface for hand-transmitted vibration»).

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). 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 информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2015

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

Введение

Силы, действующие в области контакта кисти руки работника с ручной машиной или машиной с ручным управлением, являются важными характеристиками с точки зрения оценки воздействия вибрации на работника.

Силы, действующие в области контакта, состоят из двух компонентов. Первый – это сила, прилагаемая кистью руки для обеспечения необходимого управления машиной с целью, в конечном итоге, достигнуть желаемой производительности. Эта квазистатическая сила (на частотах ниже 5 Гц) является основным предметом рассмотрения настоящего стандарта. Второй компонент – биодинамическая сила, представляющая собой биодинамический ответ кисти руки на воздействующую вибрацию.

Различия в способах контакта руки с вибрирующей поверхностью могут повлиять на эффект воздействия вибрации на организм работника разными способами:

– изменением соотношения между вибрацией на рукоятке машины и вибрацией, передаваемой в систему «кисть – рука» работника;

– изменением функциональных систем организма работника (сосудистой, нервной, костной, связочно-суставной), на которые вибрация будет оказывать негативное влияние.

К настоящему времени проведены многочисленные исследования с моделированием воздействия вибрации на организм работника для оценки влияния на эффект этого воздействия сил подачи и охвата, создаваемых кистью руки. Настоящий стандарт устанавливает формат представления данных, позволяющий обобщать результаты подобных исследований.

Предполагается, что в будущем нормирование вибрации на рабочем месте будет осуществляться не только на основании параметров собственно вибрации, но и с учетом сил в области контакта работника с машиной.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ В ОБЛАСТИ КОНТАКТА ЧЕЛОВЕКА С МАШИНОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ

Mechanical vibration – Coupling forces at the man-machine interface for hand-transmitted vibration

Дата введения — 2015—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает параметры, характеризующие контакт кисти руки оператора с вибрирующей поверхностью машины, включая параметры силового воздействия (сила нажатия, сила охвата) и давления на кожу кисти руки оператора, а также руководство по проведению измерений указанных параметров силы и давления, включая требования к средствам измерений и их калибровке.

Настоящий стандарт не распространяется на оценку сил, действующих в тангенциальном направлении к области контакта.

2 Обозначения и сокращения

2.1 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения.

F – сила;

i – индекс суммирования (целое число);

n – общее число суммируемых элементов;

p_i – локальное давление на i-й элемент поверхности;

S – поверхность;

t – время;

T – продолжительность операции;

α – угол между осью руки и разделяющей плоскостью;

β – угол между осью машины и разделяющей плоскостью;

δ – коэффициент пропорциональности для силы охвата;

γ – коэффициент пропорциональности для силы нажатия.

2.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения.

BD – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к биодинамической силе;

c – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к контакту руки с машиной;

coup – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к соединению в области контакта;

f – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к воздействию на машину;

g – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к направляющему воздействию на машину;

gr – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к силе охвата;

l – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к подъему машины;

m – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на среднее значение величины;

max – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на максимальное значение величины;

n – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на нормальную составляющую векторной величины;

pu – при использовании в качестве подстрочного индекса указывает на отношение к силе нажатия;

x, y, z – оси декартовой системы координат.

3 Параметры, характеризующие воздействие в области контакта

3.1 Давление на кожный покров

3.1.1 Элемент поверхности

Площадь элемента поверхности S_i определяют в векторном виде $\vec{S}_i$ через единичный вектор нормали $\vec{S}_{\mathrm{n},i}$ к элементу поверхности S_i (см. рисунок 1) по формуле

$$\vec{S}_i = S_i \cdot \vec{S}_{\mathrm{n},i}. \tag{1}$$

3.1.2 Локальное давление

Локальное давление p_i, приложенное к элементу поверхности кожи кисти руки S_i определяется отношением нормальной составляющей силы в центре элемента поверхности $F_{\mathrm{c},i}$ (см. 3.1.5) к площади элемента поверхности S_i по формуле

$$p_i = \frac{F_{\mathrm{c},i}}{S_i}. \tag{2}$$

Указывать значение локального давления необходимо совместно с площадью элемента поверхности, к которому это давление приложено.

Примечание – Локальное давление в области контакта кисти руки оператора с машиной зависит от механических характеристик системы «кисть – рука» оператора, положения кисти, особенностей работы оператора, применяемого инструмента и выполняемого рабочего задания и варьируется обычно в диапазоне от нуля до 0,8 Н/м^2. Давление свыше 0,8 Н/м^2 может сопровождаться болевыми ощущениями.

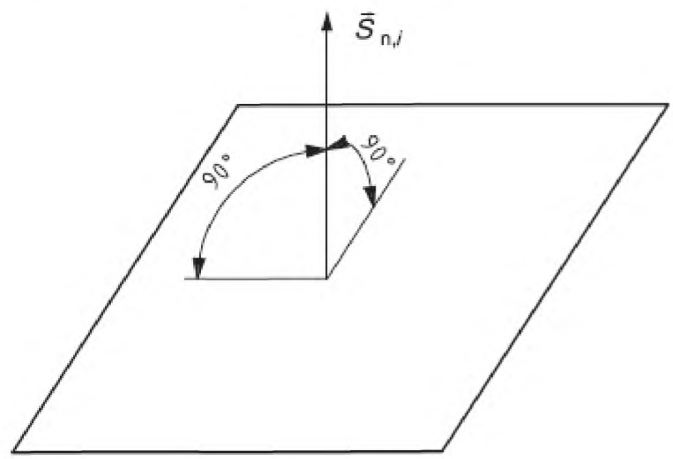


Рисунок 1 – Нормаль к элементу поверхности

3.1.3 Среднее давление

Среднее давление p_{m}, приложенное к кисти руки в области контакта оператора с машиной, рассчитывают по n элементам поверхности, составляющим область контакта, по формуле

$$p_{\mathrm{m}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i}. \tag{3}$$

3.1.4 Максимальное локальное давление

Максимальным локальным давлением $p_{\max}$ называют наибольшее из локальных давлений в области контакта кисти руки оператора с машиной:

$$p_{\max} = \max\{p_i\}. \quad (4)$$

3.1.5 Элемент силы

Элемент силы $F_{c,i}$ в области контакта определяют по формуле

$$F_{c,i} = p_i S_i, \quad (5)$$

где p_i – локальное давление на i-й элемент поверхности кожи в области контакта;

S_i – площадь i-го элемента поверхности.

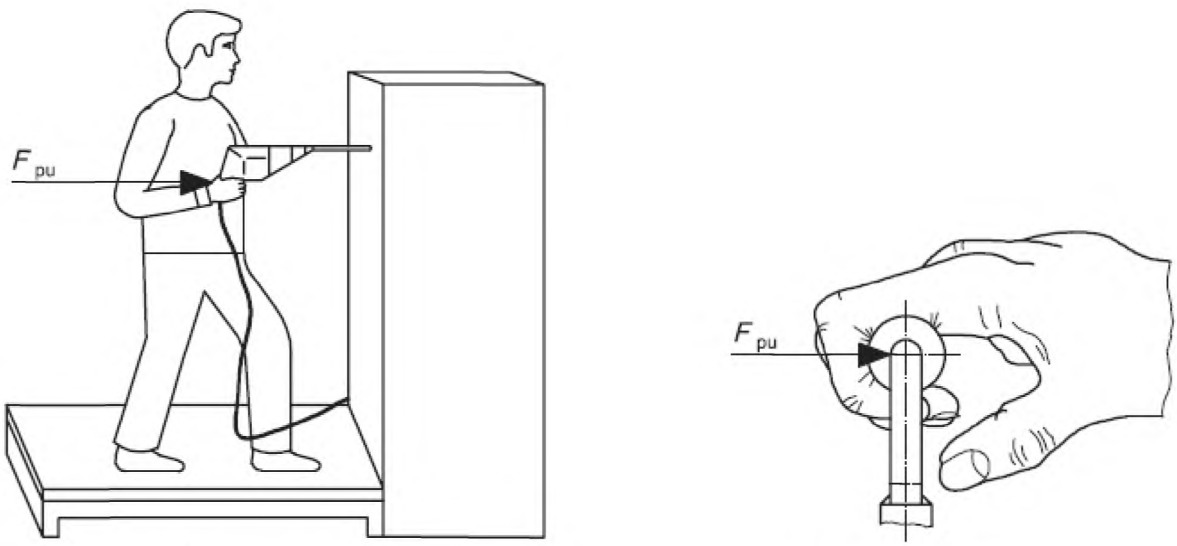
Вектор элемента силы направлен перпендикулярно элементу поверхности.

3.2 Толкающая или тянущая сила

Толкающую силу F_{pu} (некомпенсированную другими силами в области контакта) оператор прикладывает каждой кистью руки к вибрирующей поверхности в направлении от плеча. Тянущую силу F_{pu} оператор прикладывает каждой кистью руки к вибрирующей поверхности в направлении к плечу (см. рисунок 2).

Примечание 1 – В некоторых случаях оператор прилагают толкающую и тянущую силу одновременно в разных областях контакта. Тем не менее, для обозначения каждой из этих сил используют один и тот же символ F_{pu}.

Примечание 2 – Толкающая сила F_{pu} может быть весьма значительной, например при выполнении операции сверления, поэтому ее всегда необходимо принимать во внимание.



a) Толкающая сила

b) Тянущая сила

Рисунок 2 – Примеры толкающей/тянущей силы F_{pu}

3.3 Управляющая сила

Управляющую силу F_g (некомпенсированную другими силами в области контакта) оператор прикладывает кистью руки в горизонтальном (или близком к нему) направлении перпендикулярно толкающей/тянущей силе с целью придать машине, объекту обработке или рычагу управления правильное положение или движение (см. рисунок 3).

Примечание – Для контроля перемещения объекта управления в горизонтальной плоскости обычно достаточно приложения небольшой управляющей силы F_g.

3.4 Поддерживающая сила

Поддерживающую силу F_l оператор прикладывает с целью противодействовать весу машины (см. рисунок 4).

Примечание – В некоторых случаях поддерживающая сила F_l может быть равной толкающей/тянущей силе F_{pu} [см. рисунок 4 а)].

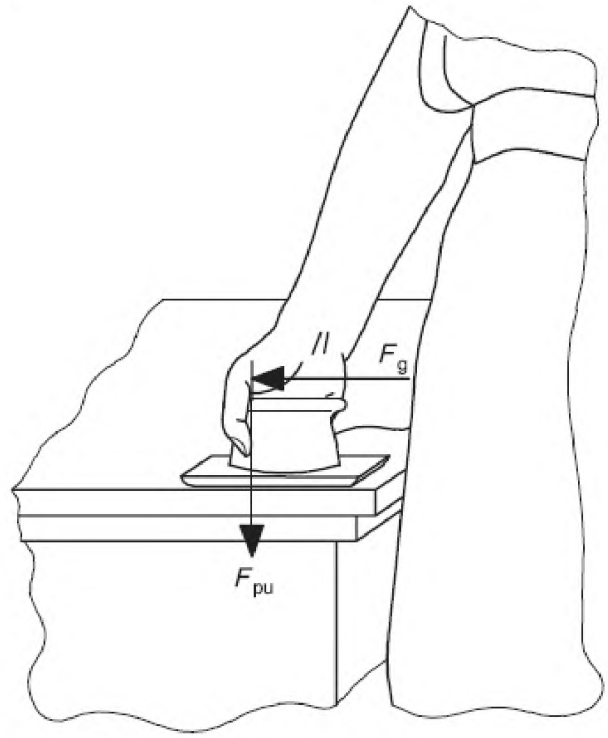
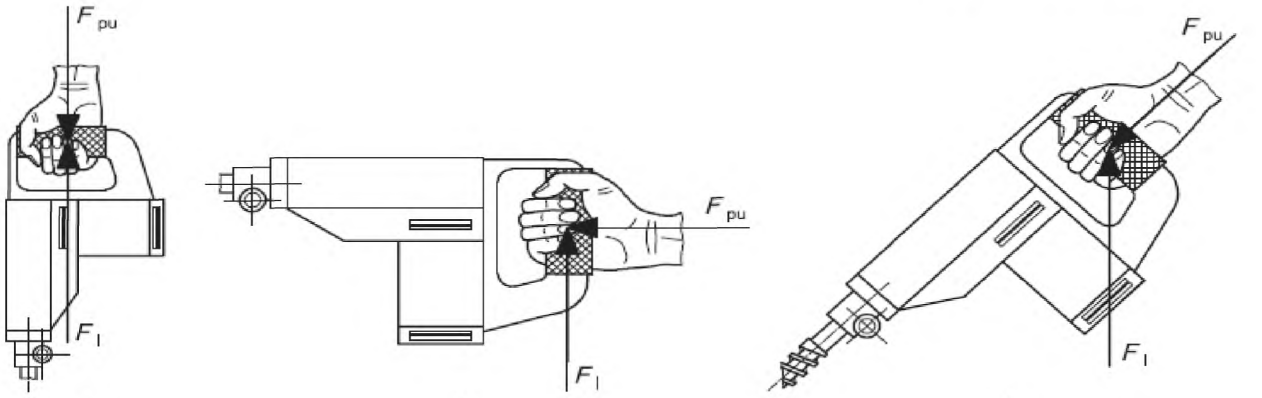


Рисунок 3 – Пример управляющей силы F_g (с указанием толкающей силы F_{pu})



a) b) c)

Рисунок 4 – Пример поддерживающей силы F_l (с указанием толкающей силы F_{pu})

3.5 Сила обхвата

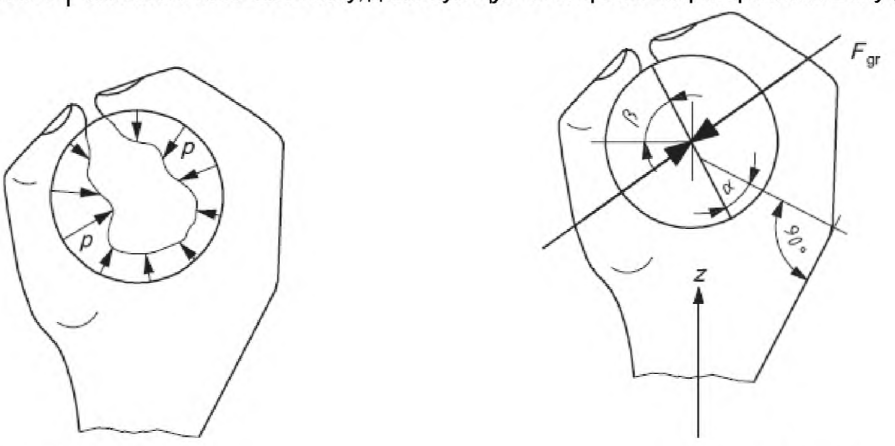
Сила обхвата F_{gr} равна векторной полусумме всех элементов силы в области контакта (без учета элементов, составляющих толкающую/тянущую и поддерживающую силы), направленных к оси обхватываемой рукоятки и действующих на рукоятку с одной стороны от разделительной плоскости, проходящей через эту ось. Векторная сумма всех учитываемых элементов силы в области контакта равна нулю и может быть представлена в виде суммы двух противодействующих векторных сил обхвата, направленных навстречу друг другу перпендикулярно разделяющей плоскости (см. рисунок 5).

Примечание 1 – Если оператор удерживает рукоятку цилиндрической формы, то направление силы обхвата F_{gr} принимают параллельным оси z.

Примечание 2 – Поскольку давление со стороны кисти оператора распределено по области обхвата рукоятку неравномерно, то модуль силы обхвата в общем случае будет зависеть от положения разделительной плоскости. Направления силы обхвата, при которых ее модуль будет максимальным и минимальным, зависят от размеров рукоятки, размеров кисти руки оператора и способа, которым оператор обхватывает рукоятку. Для простоты в целях проведения лабораторных измерений за направление силы обхвата принимают ось z вдоль предплечья руки оператора [см. рисунок 5 b)].

3.6 Сила подачи

Силой подачи F_f называют внешнюю силу, действующую со стороны оператора на машину (см. рисунок 6).



a) Поле давления p b) Сила обхвата

α – угол, определяющий положение разделительной плоскости относительно кисти руки; β – угол, определяющий положение разделительной плоскости относительно рукоятки

Примечание – Ось z направлена вдоль предплечья руки оператора.

Рисунок 5 – Пример силы обхвата F_{gr}

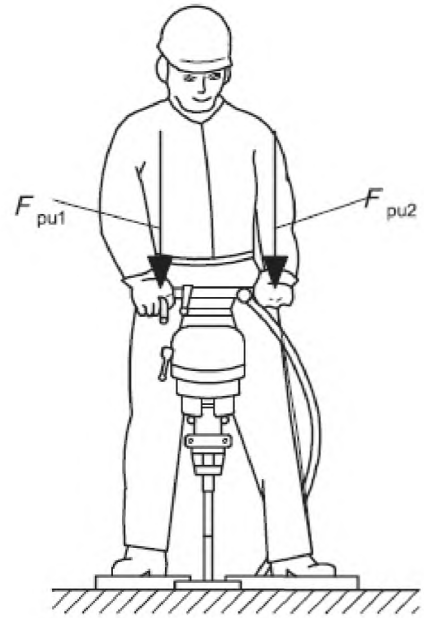


Рисунок 6 – Пример силы подачи F_f

Примечание – В примере на рисунке 6 сила подачи F_f равна сумме толкающих сил F_{pu1} и F_{pu2}, в то время как в примере на рисунке 2 а) она равна толкающей силе F_{pu}.

3.7 Контактная сила

В общем случае контактная сила F_c зависит от всех сил, действующих в области контакта кисти руки оператора с вибрирующей поверхностью, и определяется как нормированный интеграл элементов силы (см. 3.1.5) по области контакта. В принципе силу, действующую на каждый элемент поверхности, можно разбить на нормальную (к поверхности) и тангенциальную составляющую, однако тангенциальные составляющие в настоящем стандарте не рассматриваются ввиду сложности их измерения. Контактная сила пропорциональна среднему давлению на поверхность в области контакта, но она не отражает распределения давления по поверхности, т.е. не содержит информацию о моментах сил (см. 3.9), которые могут уравновешивать действие внешних моментов.

Учет только нормальных составляющих сил, действующих в области контакта, оказывается, тем не менее, достаточным с точки зрения описания передаваемой вибрации на кисть руки оператора (см. рисунок 7).

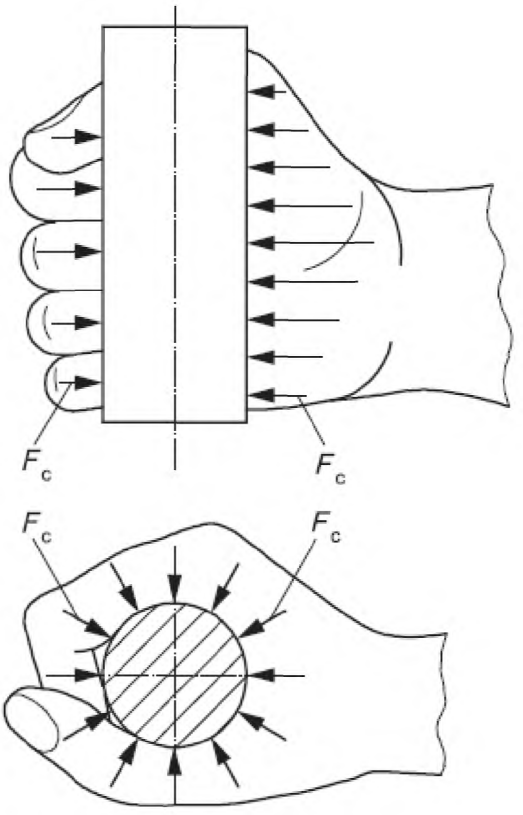


Рисунок 7 – Примеры контактной силы F_c

Из определения контактной силы следует, что ее можно рассчитать как интеграл от давления на поверхность в области контакта по области контакта. Исследования показали, что общую статическую силу контакта F_c связывает с толкающей силой F_{pu} и силой обхвата F_{gr} [действующей вдоль оси z, как показано на рисунке 5 b)] линейная зависимость вида

$$F_c = \delta F_{gr} + \gamma F_{pu}, \quad (6)$$

где δ и γ – коэффициенты пропорциональности.

Примечание 1 – Согласно результатам проведенных исследований для цилиндрических рукояток диаметром от 30 до 50 мм коэффициент δ близок к трем, а γ – к единице. Для рукояток малых диаметров коэффициент δ больше.

Примечание 2 – Соотношение между вкладами силы обхвата и толкающей силы может изменяться при изменении конфигурации и размеров рукоятки, а также в зависимости от того, смыкается ли большой палец кисти руки с другими пальцами при обхвате.

3.8 Сила связи

Силой связи F_{coup} называют сумму толкающей/тянущей силы и силы обхвата:

$$F_{coup} = F_{gr} + F_{pu}. \quad (7)$$

Примечание 1 – В настоящем стандарте сила связи между рукой оператора и рукояткой или управляющим рычагом машины упрощенно определена только через две силы, F_{gr} и F_{pu}, но теоретически должна включать также биодинамические силы (см. приложение А).

Примечание 2 – Ряд исследований показал, что с точки зрения воздействия передаваемой на руку вибрации практически не имеет значения, обусловлена ли сила связи толкающей/тянущей силой или силой обхвата,

поэтому в формулу (7) эти силы входят с одинаковым весом.

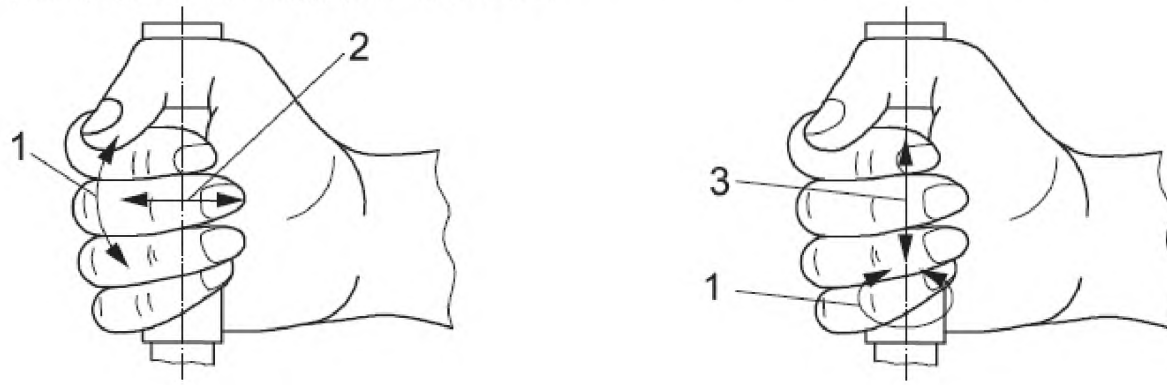
Примечание 3 – Определение контактной силы связано с большими трудностями, чем определение силы связи.

3.9 Момент силы и сила трения

В настоящем стандарте не рассматриваются силы, тангенциальные к поверхности контакта (например, сила трения) и способные создавать момент силы, однако ниже на примерах показано действие этих сил.

Моменты силы, указанные на рисунках 8 a) и b), невозможны без действия силы обхвата, толкающей/тянущей силы или поддерживающей силы.

Сила трения, указанная на рисунке 8 b), невозможна без действия силы обхвата, толкающей/тянущей силы или поддерживающей силы.



a) b)

1 – момент; 2 – толкающая/тянущая сила; 3 – трение

Рисунок 8 – Примеры моментов силы и силы трения

Приложение А
(справочное)

Воздействие биодинамических сил

А.1 Биодинамические силы

Биодинамическая сила F_{BD} в области контакта между системой «кисть – рука» и вибрирующей поверхностью (машины или объекта обработки) является результатом динамического отклика системы на вибрацию. Следовательно, ее значение зависит, в первую очередь, от эффективной массы системы в области контакта и передаваемой от поверхности контакта вибрации.

А.2 Методы измерения и оценки

Биодинамическая сила F_{BD} может быть разложена на три ортогональные составляющие в направлении осей x, y и z и измерена непосредственно с помощью датчиков силы, прикрепленным к рукояткам, перчаткам оператора или его ладоням. Она может быть измерена вместе со статическими силами и затем выделена фильтром верхних частот с частотой среза выше 5 Гц. Другим возможным вариантом является измерение ускорения в трех указанных направлениях с последующим преобразованием в сигнал силы при известных значениях эффективной массы (механического импеданса) системы «кисть – рука» в диапазоне частот измерений. В первом приближении для оценки среднеквадратичного значения составляющей биодинамической силы $F_{BD}(\omega_i)_J$ в J-м направлении (J принимает значения x, y или z) на угловой частоте ω_i можно использовать одну из следующих формул:

$$F_{BD}(\omega_i)_J \approx |M(\omega_i)|_J \, a(\omega_i)_J ; \quad \text{(А.1)}$$

$$F_{BD}(\omega_i)_J \approx |Z(\omega_i)|_J \, a(\omega_i)_J / \omega_i , \quad \text{(А.2)}$$

где $|M(\omega_i)|_J$ – модуль входной эффективной массы системы «кисть – рука» в области контакта на угловой частоте ω_i в J-м направлении;

$|Z(\omega_i)|_J$ – модуль входного механического импеданса системы «кисть – рука» в области контакта на угловой частоте ω_i в J-м направлении;

$a(\omega_i)_J$ – среднеквадратичное значение ускорения вибрирующей поверхности в области контакта на угловой частоте ω_i в J-м направлении.

А.3 Основные свойства биодинамической силы

Поскольку эффективная масса системы «кисть – рука» обычно уменьшается с ростом частоты, динамическая сила, как правило, значительно выше, если машина генерирует преимущественно низкочастотную (ниже 40 Гц), а не высокочастотную (свыше 100 Гц) вибрацию. Низкочастотная биодинамическая сила может быть сопоставима со статической силой, прикладываемой оператором. Эффективная масса системы обычно максимальна в направлении z (т.е. вдоль предплечья руки оператора), поэтому в данном направлении также обычно максимальна и биодинамическая сила. Как правило, биодинамическая сила максимальна на доминирующей частоте вибрации. Низшая частота собственных колебаний системы «кисть – рука» находится, как правило, в диапазоне от 10 до 63 Гц. Если доминирующая частота машины близка к частоте резонанса, то биодинамическая сила может стать особенно значительной. На частотах ниже 100 Гц биодинамическая сила сосредоточена преимущественно в области ладони, а на высоких частотах распределена почти равномерно по всей кисти руки.

Приложение В
(рекомендуемое)

Расчет силы обхвата и толкающей/тянущей силы по измерениям давления

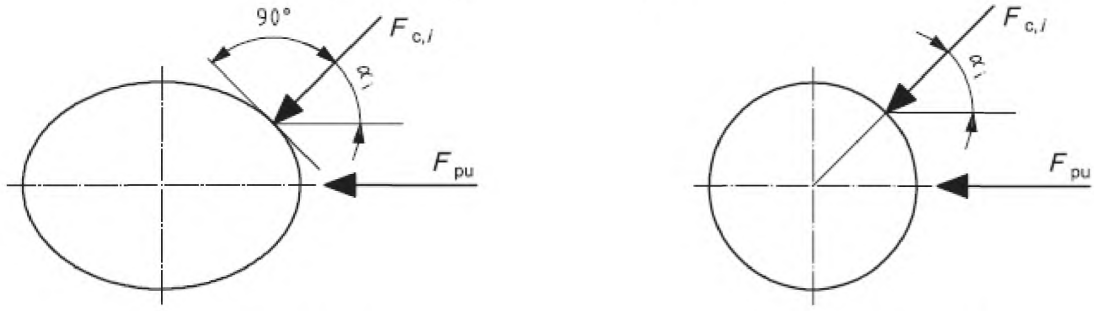
В.1 Общие положения

Толкающую/тянущую силу, силу обхвата и силу связи можно рассчитать, зная .распределение локального давления по поверхности обхвата и геометрию этой поверхности. Важно также знать угол между измерительной поверхностью датчика и выбранным направлением силы обхвата. Существующая техника измерений позволяет построить распределение давления в области обхвата без применения интерполяций. К последним прибегают, если число датчиков недостаточно, чтобы покрыть всю область контакта кисти руки с вибрирующей поверхностью.

В.2 Толкающая/тянущая сила

Для расчета толкающей/тянущей силы F_{pu} (см. рисунок В.1) используют формулу

$$F_{\text{pu}} = \sum_i F_{\text{pu},i} = \sum_i F_{\text{c},i} \cos\alpha_i = \sum_i p_i S_i \cos\alpha_i . \qquad \text{(В.1)}$$



a) Эллиптическая рукоятка

b) Круглая рукоятка

Рисунок В.1 – Определение угла между направлениями действия нормального к поверхности элемента силы и толкающей/тянущей силы

Если направление силы подачи не совпадает с направлением толкающей/тянущей силы, то целесообразно определять результирующую $\vec{F}_{\text{RP}}$ этих двух сил по формуле

$$\vec{F}_{\text{RP}} = \sum_i p_i S_i \left(\vec{i}\cos\alpha_i + \vec{j}\sin\alpha_i\right),$$

где $\vec{i}$ и $\vec{j}$ – единичные векторы координатных осей.

Примечание – $\vec{F}_{\text{RP}}$ – векторная величина, которую измеряют в плоскости, перпендикулярной к оси рукоятки. Эта величина содержит информацию о позе оператора во время испытания, и ее направление может изменяться со временем.

В.3 Сила обхвата

Пояснения величин, определяющих силу обхвата, дано на рисунке В.2.

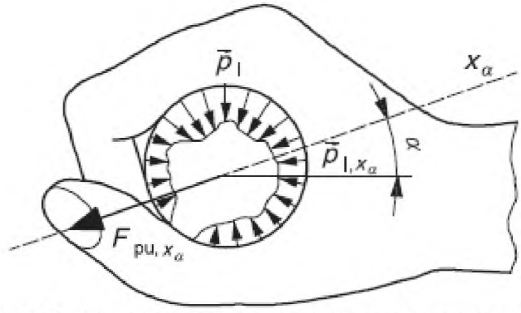


Рисунок В.2 – Величины, характеризующие условия обхвата

Силу обхвата F_{gr} рассчитывают следующим образом.

Вычисляют силу обхвата $F_{\mathrm{gr}\alpha}$, действующей во всех возможных направлениях оси x_α, проходящей через центр рукоятки, по формуле

$$F_{\mathrm{gr}\alpha} = \frac{1}{2}\left(\sum_i \left| \vec{p}_{i,x_\alpha} \right| - F_{\mathrm{pu},x_\alpha} \right), \tag{В.2}$$

где $\vec{p}_{i,x_\alpha}$ – проекция силы, воспринимаемой i-м датчиком, на ось x_α;

F_{pu,x_α} – проекция толкающей силы на ось x_α.

Определяют силу обхвата $F_{\mathrm{gr,pu}}$, ориентированную в зависимости от направления толкающей силы, как значение $F_{\mathrm{gr}\alpha}$, рассчитанное по формуле (В.2) для оси x_α, совпадающей с направлением силы $\vec{F}_{\mathrm{RP}}$ (способным изменяться во времени в зависимости от позы оператора – см. раздел В.2), $x_\alpha = x_{\alpha,\mathrm{pu}}$, т.е.

$$F_{\mathrm{gr,pu}} = \frac{1}{2}\left(\sum_i \left| \vec{p}_{i,x_{\alpha,\mathrm{pu}}} \right| - F_{\mathrm{pu},x_{\alpha,\mathrm{pu}}} \right), \tag{В.3}$$

Определяют максимальное значение силы обхвата F_{gr} по всем возможным направлениям, определяемым углом α:

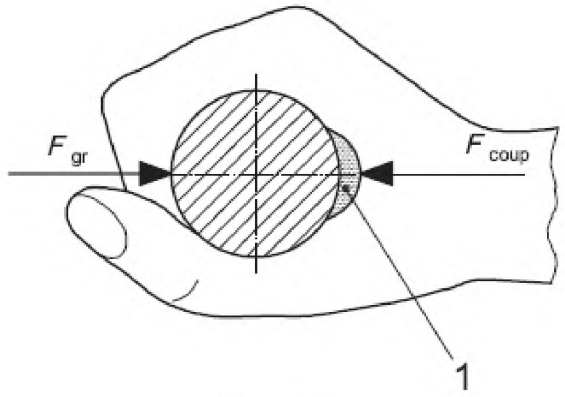
$$F_{\mathrm{gr}} = \max_{0 \le \alpha \le 2\pi} \left(F_{\mathrm{gr}\alpha} \right). \tag{В.4}$$

Примечание – Значения F_{pu,x_α} и $F_{\mathrm{pu},x_{\alpha,\mathrm{pu}}}$ всегда больше нуля.

В.4 Сила связи

Силу связи F_{coup} (см. рисунок В.3) рассчитывают по формуле

$$F_{\mathrm{coup}} = F_{\mathrm{pu}} + F_{\mathrm{gr}} = \frac{1}{2}\left(F_{\mathrm{c,pu}} + F_{\mathrm{pu}} \right) = \frac{1}{2} \sum_i p_i S_i \left(\left| \cos\alpha_i \right| + \cos\alpha_i \right). \tag{В.5}$$



1 – датчик

Рисунок В.3 – Пример схемы измерений силы связи F_{coup}

Приложение С
(рекомендуемое)

Измерения и обработка результатов

С.1 Общие положения

Измерения контактной силы сложны и на практике не могут быть реализованы в полном объеме. Поэтому измерениям подлежат наиболее важные ее компоненты, такие как толкающая/тянущая сила, сила обхвата, а также давление в области обхвата.

Применяемые средства измерений должны создавать минимальные помехи нормальной работе оператора и не должны изменять динамические частотные характеристики машины.

При оценке воздействия вибрации на работника вибрацию желательно измерять одновременно с параметрами, характеризующими условия контакта кисти руки оператора с вибрирующей поверхностью. Но ввиду сложности таких измерений допускается параметры контакта измерять отдельно (в другое время) в тех же условиях, при которых были проведены измерения вибрации.

Измерения следует проводить калиброванной измерительной системой (см. приложение Е).

До и после каждой серии измерений следует проверять калибровку измерительной цепи.

При проведении измерений следует регистрировать позу оператора, условия его работы и условия работы машины.

С.2 Измерения толкающей/тянущей силы

Применение многих ручных машин и машин с ручным управлением требует приложения оператором толкающей или тянущей силы в направлении оси предплечья, как показано на рисунках 2 и 4.

Применяют два основных метода измерений:

– прямой метод, при котором датчики размещают между кистью руки и вибрирующей поверхностью (см., например, рисунок В.3);

– косвенный метод, при котором измеряют результирующую силу, действующую на оператора или машину [например, с помощью силовой платформы, изображенной на рисунке 2 а)].

Косвенный метод может быть использован только в том случае, когда оператор в процессе выполнения рабочего задания сохраняет свое положение неизменным и прикладывает толкающую/тянущую силу одной рукой (либо если толкающая/тянущая сила поровну распределена между обеими руками).

С.3 Измерения силы обхвата

Применяют два основных метода измерений:

– прямой метод, при котором датчики размещают между пальцами кисти руки оператора и вибрирующей поверхностью;

– косвенный метод, при котором вначале измеряют силу связи между ладонью оператора и вибрирующей поверхностью, а также толкающую/тянущую силу, после чего силу обхвата рассчитывают как результирующую двух указанных сил.

С.4 Измерения давления на кожный покров

Измерения проводят с использованием датчиков давления, которые фиксируют либо непосредственно в области обхвата с помощью двусторонней клеящей ленты или других аналогичных приспособлений, либо на хирургических перчатках. В последнем случае важно размещать датчики в тех местах, где ожидается максимальное давление.

С.5 Обработка временных сигналов

Рекомендуется регистрировать временные сигналы силы или давления в диапазоне частот до 5 Гц.

При исследовании динамических сил рекомендуется записывать сигнал в диапазоне частот, верхняя граница которого по крайней мере в три раза превышает доминирующую частоту вибрации, после чего проводить анализ сигналов в частотной области.

С.6 Усреднение

При необходимости характеризовать переменную силу $F(t)$ или давление $p(t)$, зарегистрированные при выполнении измерений во время проведения операции, одним числом используют среднее значение модуля силы $\overline{F}$ или среднее значение давления $\overline{p}$, рассчитываемые по формулам:

$$\overline{F} = \frac{1}{T}\int_0^T |F(t)|\,dt; \qquad \text{(С.1)}$$

$$\overline{p} = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt\,, \qquad \text{(С.2)}$$

где T – продолжительность измерений.

Под операцией понимают любой период работы машины, во время которого оператор подвергается воздействию локальной вибрации. Продолжительность измерений должна быть достаточной, чтобы характеризовать измеряемые сигналы, и обычно не менее 8 с.

Примечание – В случае измерения силы обхвата $F(t)$ всегда больше нуля.

С.7 Регистрируемая информация

Протокол измерений должен включать в себя, по возможности, следующие сведения:

a) общую информацию об измерениях:
- наименование заказчика измерений и организации, проводившей измерения,
- цель проведения измерений,
- дату проведения измерений,
- имя оператора, подвергавшегося воздействию вибрации;
- имя сотрудника, проводившего измерения и обработку данных;

b) условия рабочего места:
- место проведения измерений,
- температура (окружающего воздуха, вибрирующей поверхности),
- относительная влажность воздуха;

c) условия измерений:
- подробное пошаговое описание рабочей операции,
- направления измерений,
- направления движения рукоятки, вибрирующей поверхности и кисти руки оператора,
- условия обхвата,
- поза оператора (с использованием, по возможности, фотографий или видеозаписей);

d) антропометрические данные:
- указание рабочей руки оператора (правая или левая),
- размеры кисти руки оператора (длина, ширина, длина среднего пальца);

e) источник вибрации:
- машина и используемый вставной инструмент,
- технические характеристики машины,
- модель и заводской номер машины,
- срок службы и условия технического обслуживания машины,
- масса ручной машины (обрабатываемого объекта, рычага управления),
- способ удержания машины,
- мощность машины,
- основные частоты вибрации машины,
- тип и модель вставного инструмента,
- объекты обработки;

f) средства измерений:
- состав измерительной системы с подробным описанием ее элементов,
- результаты поверки (калибровки),
- дата последней поверки (калибровки),
- результаты проверки калибровки до и после проведения измерений;

g) условия измерения сил и/или давления:
- описание метода измерений,
- направления измерений,
- способ установки датчиков,
- условия проведения измерений;

h) результаты измерений:
- полученные значения сил и/или давления,
- продолжительность измерений,
- временной сигнал силы и/или давления,
- неопределенность измерения.

Приложение D
(рекомендуемое)

Рекомендуемые характеристики средств измерений

D.1 Средства измерений силы

Следующие рекомендации относятся к средствам измерений толкающей/тянущей силы F_{pu}:

- измерения проводят в направлении действия силы;
- минимальный диапазон измерений: до 200 Н;
- минимальное разрешение: 2 % максимального значения диапазона измерений;
- диапазон частот измерений: до 5 Гц;
- толщина датчика не должна превышать 10 мм;
- форма датчика должна быть такой, чтобы он не создавал неудобства оператору в его работе;
- общий вклад других источников неопределенности: менее 10 %;
- обеспечение показаний среднего абсолютного значения.

Следующие рекомендации относятся к средствам измерений силы обхвата F_{gr}:

- минимальный диапазон измерений: до 100 Н;
- минимальное разрешение: 2 % максимального значения диапазона измерений;
- диапазон частот измерений: до 5 Гц;
- толщина датчика не должна превышать 10 мм;
- форма датчика должна быть такой, чтобы он не создавал неудобства оператору в его работе;
- общий вклад других источников неопределенности: менее 10 %;
- обеспечение показаний среднего значения.

Примечание – В некоторых случаях необходимо учитывать влияние температуры на датчик силы.

D.2 Средства измерений локального давления

Следующие рекомендации относятся к средствам измерений локального давления p_i:

- форма датчика должна быть такой, чтобы он не создавал неудобства оператору в его работе;
- размеры области контакта датчика не должны превышать 11×11 мм;
- толщина датчика не должна превышать 2 мм;
- минимальный диапазон измерений: до 0,3 Н/мм^2;
- минимальное разрешение: 2 % максимального значения диапазона измерений;
- расширенная неопределенность: не более 10 % (при коэффициенте охвата, равном двум);
- гистерезис: менее 15 % максимального значения шкалы при выполнении полного цикла нагрузки и разгрузки (т.е. от нуля до максимального значения шкалы и обратно);
- изменение показания под постоянной нагрузкой на периоде времени 5 мин: не более 10 %
- минимальный диапазон частот измерений: до 5 Гц;
- чувствительность к тангенциальным нагрузкам: отклонения не более чем на 10 % при приложении тангенциальной нагрузки, составляющей 30 % номинальной;
- чувствительность к неравномерной нагрузке на датчик: отклонения не более чем на 30 % при сосредоточении нагрузки в области, составляющей 25 процентов общей поверхности контакта датчика.

D.3 Сравнение характеристик средств измерений

Сравнение характеристик средств измерений показано в таблице D.1.

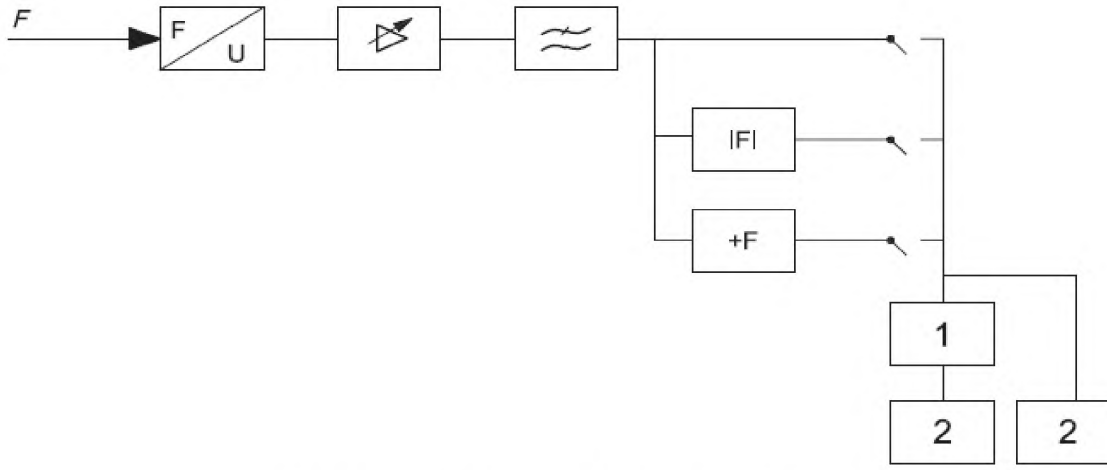
D.4 Примеры измерительной цепи

Схема измерительной цепи с датчиком силы или давления показана на рисунке D.1.

Примечание 1 – Измерения силы могут быть реализованы с применением датчиков силы или давления.

Таблица D.1 – Рекомендуемые характеристики средств измерений

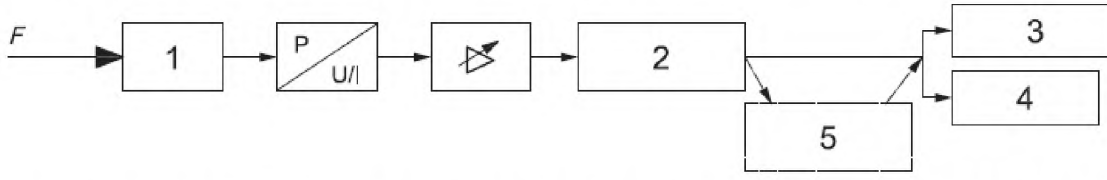
Характеристика	Средства измерений силы для измерений		Средства измерений давления для измерений		
	F_{pu}	F_{gr}	F_{pu}	F_{gr}	p_i
Верхняя граница диапазона	≥ 200 Н	≥ 100 Н	≥ 200 Н	≥ 100 Н	≥ 0,3 Н/мм^2
Разрешение, %	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Верхняя граница диапазона частот, Гц	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5
Неопределенность, %	≤10	≤10	≤20	≤20	≤10
Толщина датчика, мм	≤10	≤10	≤2	≤2	≤2
Пространственное разрешение, мм	–	–	–	–	≤11×11
Гистерезис, %	–	–	–	–	≤15



1 – регистрирующее устройство; 2 – показывающее устройство

Рисунок D.1 – Пример схемы измерительной цепи для измерений толкающей/тянущей силы или силы обхвата с датчиками силы или давления

На рисунке D.2 показан вариант измерительной цепи с использованием гидравлической системы.



1 – камера давления; 2 – устройство усреднения (вычисления среднеквадратичного значения); 3 – показывающее устройство; 4 – устройство регистрации; 5 – процессор

Рисунок D.2 – Пример схемы измерительной цепи для измерений толкающей/тянущей силы или силы обхвата с электрогидравлическим датчиком силы

Примечание 2 – Схема измерений силы связи с использованием электрогидравлического датчика силы состоит в следующем. Сила связи, прикладываемая оператором через его ладонь к поверхности вибрирующего инструмента, преобразуется в изменения давления в несжимаемой жидкости (например, масле), которой заполнена камера давления. Эти изменения давления передаются на мембрану датчика давления. Мгновенное значение выходного сигнала этого датчика (напряжения или силы тока) пропорционально изменению давления в камере давления. Сигнал напряжения или силы тока усиливается, измеряется, отображается показывающим устройством и сохраняется. Камера давления и датчик давления вместе составляют двухступенчатый датчик силы.

D.5 Калибровка датчика

Исследования показывают, что в процессе применения некоторые датчики давления изменяют свою чувствительность, поэтому перед применением и после применения таких датчиков необходимо проверять их калибровку.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Условия и устройства для калибровки

Е.1 Условия калибровки датчиков силы

Предшествующий опыт применения датчиков силы показал, что в качестве опорного значения статической силы для калибровки удобно выбирать 100 Н. Ввиду многообразия используемых типов датчиков силы целесообразно также проводить калибровку при нагрузке от 80 % до 90 % максимальной, чтобы подтвердить диапазон линейности датчика. Если датчик предназначен для измерений силы обхвата, то рекомендуется дополнительно выполнять калибровку при статической силе 50 Н. Точка измерений совпадает с геометрическим центром датчика.

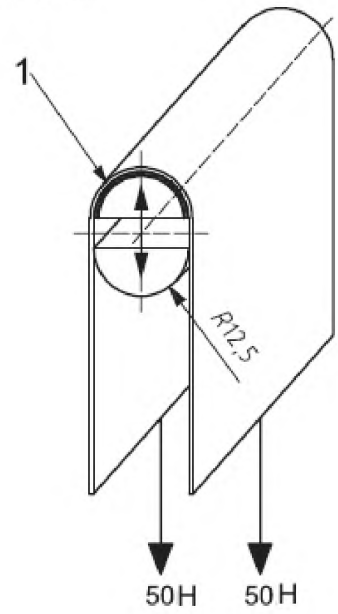
Примечание – В ряде случаев важно знать, как изменяется коэффициент чувствительности датчика при изменениях температуры.

Е.2 Условия калибровки датчиков давления

Датчики давления могут быть калиброваны с применением простой установки, включающей в себя гладкую поверхность, на которую устанавливают датчик, и гибкую мембрану, передающую на датчик давление сжатого воздуха, равномерно распределенное по поверхности мембраны. Создаваемое давление должно обеспечивать калибровку датчика в диапазоне до 1 Н/мм^2. Давление воздуха измеряют манометром с точностью до 0,01 Н/мм^2. Создавая разное давление в пределах диапазона измерений строят градуировочную характеристику зависимости напряжения на выходе датчика от приложенного давления.

Е.3 Устройство для калибровки средств измерений силы методом сравнения

Для калибровки используют стандартную рукоятку с встроенным эталонным датчиком силы, показанную на рисунке Е.1. На одной стороне поверхности рукоятки устанавливают преобразователь средства измерений и накрывают его полосой материала, свободные концы которой уравновешивают прилагаемыми силами, например, по 50 Н. Ширина полосы должна соответствовать ширине преобразователя калибруемого средства измерений.



1 – эталонный датчик силы

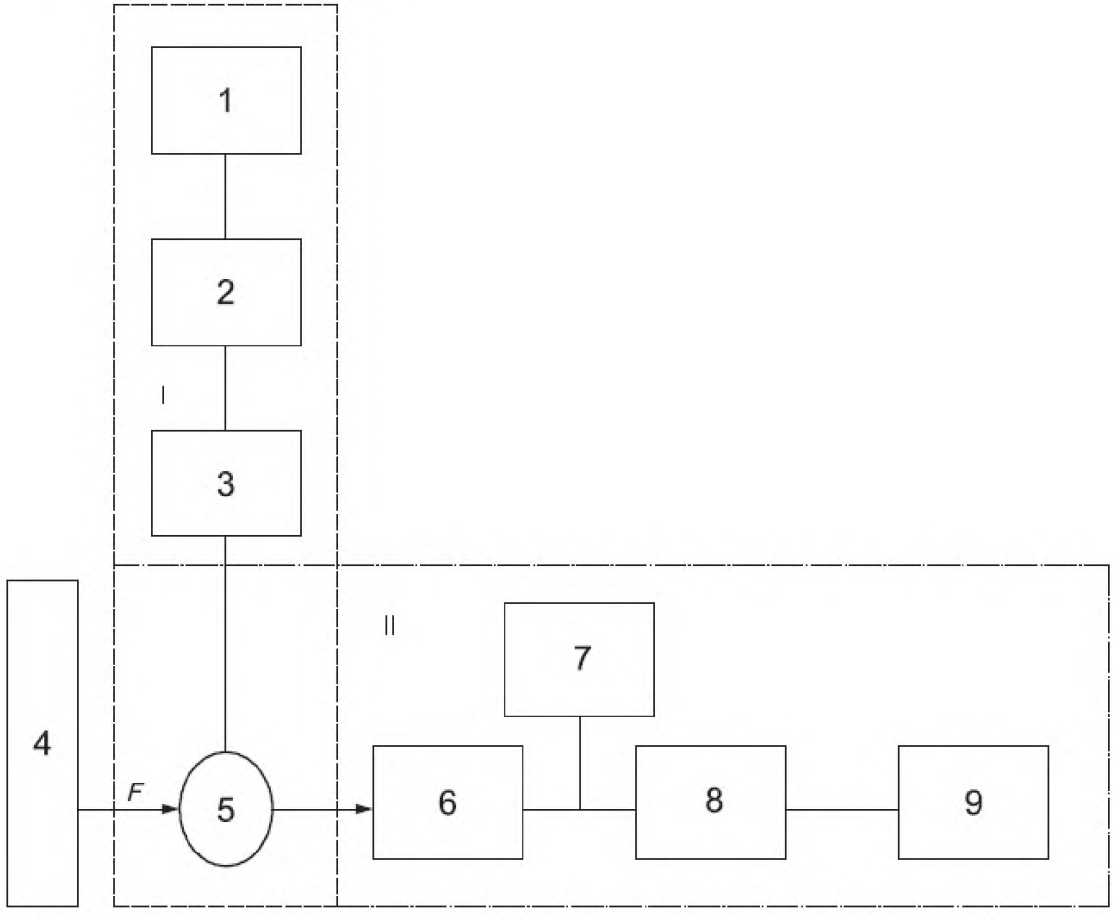
Рисунок Е.1 – Пример стандартной рукоятки для калибровки средств измерений силы

Е.4 Дополнительная проверка

Датчик силы может быть чувствителен к точке приложения нагрузки. Для проверки наличия или отсутствия такой чувствительности нагрузку прикладывают в трех разных участках датчика: посередине и на половине расстояния от середины датчика к обоим его краям.

Е.5 Калибровка электрогидравлического устройства измерения силы

Электрогидравлическое устройство измерения силы может быть калибровано с помощью системы, схема которой изображена на рисунке Е.2. Калибровочная система включает в себя источник заданной прилагаемой силы, тензометрический датчик силы и цифровое показывающее устройство. Камера давления калибруемого средства измерений располагается между плоской жесткой поверхностью устройства приложения нагрузки и поверхностью тензометрического датчика силы. Приложенная нагрузка вызывает изменения давления в камере давления. Значения давления, полученные с помощью калибруемого устройства, сравнивают с показаниями калибровочной системы. Нагрузки прилагают во всем диапазоне измерений калибруемого устройства (от нуля до 300 Н), что дает возможность построить градуировочную кривую и проверить линейность характеристики электрогидравлического устройства измерений силы.



I – электрогидравлическое устройство измерения силы; II – калибровочная система; 1 –устройство, показывающее значения давления p; 2 – цифровой манометр; 3 – датчик давления; 4 – источник силы F; 5 – камера давления; 6 – тензометрический датчик силы; 7 – устройство питания; 8 – цифровой индикатор; 9 – устройство, показывающее значения F

Рисунок Е.2 – Пример системы для калибровки электрогидравлического устройства измерений силы

Библиография

[1] ISO 5349 (all parts), Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration
[2] ISO 8727, Mechanical vibration and shock – Human exposure – Biodynamic coordinate systems
[3] DIN 45679, Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Greif- und Andruckkräfte zur Beurteilung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems
[4] CRONJÄGER, L., et al. Auswirkung der Ankopplungsintensität zwischen Hand und Handgriff vibrierender Arbeitsgeräte auf die Schwingungsbelastung und -beanspruchung des Hand-Arm-Systems. Endbericht zum Forschungsvorhaben BMFT/AuT 01 HK 595 8, 1990
[5] DANTIGNY, F. Caractérisation de capteurs de pression pour la mesure des forces de poussée et de préhension exercées sur une poignée d'outil. INRS Document de Travail MAV – DT-374/FD, 1998
[6] DANTIGNY, F. Mesures des forces de poussée et de préhension exercées sur une poignée d'outil. INRS Document de Travail MAV – DT-375/FD, 1998
[7] DONG, R.G., WELCOME, D.W., and WU, J.Z. Estimation of the biodynamic force acting at the interface between hand and vibrating surface. *Ind. Health* 43, pp. 516-526
[8] DONG, R.G., WU, J.Z., MCDOWELL, T.W., WELCOME, D.E., SCHOPPER, A.W. Distribution of mechanical impedance at the fingers and the palm of human hand. *Journal of Biomechanics* 38, (5), pp. 1165-1175.
[9] DUPUIS, H., SCHEFFER, M. Wirkung von Greif- und Andruckkraft unter Schwingungsbelastung — Teilprojekt II. Forschungsbericht Hand-Arm-Schwingungen III, Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, 1992
[10]EDGREN, C.S., REDWIN, R.G., IRWIN, C.B. (2004). Gripping force vectors for varying handle diameters and hand sizes. HUM FACTORS 46 (2), pp. 244-251
[11]HARAZIN, B., SZLAPA, P. Measurement of coupling forces applied to vibration tools in industry. Proceeding of the 34th Meeting of the UK Group of Human Response to Vibration, Dunton, Essex, England, 1999, pp. 111-117
[12]KAULBARS, U. Measurement and evaluation of coupling forces when using hand-held power tools. *Central European Journal of Public Health*, No. 1, vol. 4 (JHEMI vol. 40), 1996, pp. 57-58
[13]MARCOTTE, P., ALDIEN, Y., BOILEAU, P.-É., RAKHEJA, S., BOUTIN, J. Effect of handle size and handhandle contact force on the biodynamic response of the hand-arm system under zh-axis vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 283 (3), 2005, pp. 1071-1092
[14]RIEDEL, S. Consideration of grip and push forces for the assessment of vibration exposure. *Central European Journal of Public Health*, vol. 3 (JHEMI vol. 39), 1995, pp. 139-141
[15]WASSERMAN, J., LOGSTON, D. and WASSERMAN, D. The use of a resistive pressure sensor to assess glove effects on tool transmitted vibration. Proceeding of the 10th International Conference on Hand-Arm Vibration, Las Vegas, USA
[16]WELCOME, D.E., RAKHEJA, S., DONG, R.G., WU, J.Z., SCHOPPER, A.W. Relationship between the grip, push and contact forces between the hand and a tool handle. *International Journal of Industrial Ergonomics* 34 (6), 2004, pp. 507-518

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 13.160

Ключевые слова: локальная вибрация, область контакта, сила нажатия, сила охвата, сила подачи, измерения

Подписано в печать 02.03.2015. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 2,79. Тираж 36 экз. Зак. 790.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

123995 Москва, Гранатный пер., 4.

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

gost.e-ecolog.ru