**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**Краны грузоподъемные**

# ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА НАГРУЗОК И КОМБИНАЦИЙ НАГРУЗОК

**Часть 1**

**Общие положения**

**СТ РК ИСО 8686-1-2010**

*ISO 8686-1:1989 Cranes. Design principles for loads and load combinations. Part 1: General (IDT)*

**Издание официальное**

**Комитет технического регулирования и метрологии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан**

**Астана**

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

**1 ПОДГОТОВЛЕН** Акционерным обществом «Главное диспетчерское управление нефтяной и газовой промышленности»

**ВНЕСЕН** Техническим комитетом по стандартизации № 58 «Нефть, газ, продукты их переработки, материалы, оборудование и сооружения для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности»

**2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Приказом Председателя Комитета технического регулирования и метрологии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан от 3 июля 2010 года № 291-ОД

**3** Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 8686-1:1989 Cranes. Design principles for loads and load combinations. Part 1: General (Краны грузоподъемные. Принципы расчета нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения).

Международный стандарт ISO 8686-1:1989 разработан Техническим комитетом по стандартизации ИСО/ТК 96 «Краны» Международной организации по стандартизации (ISO)».

Сведения о соответствии государственных (межгосударственных) стандартов ссылочным международным стандартам, приведены в дополнительном Приложении Д.А.

Перевод с английского (en)

Степень соответствия – идентичная (IDT)

**4 СРОК ПЕРВОЙ ПРОВЕРКИ** 2015 год
**ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ** 5 лет

**5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Нормативные документы по стандартизации», а текст изменений и поправок - в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Государственные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Государственные стандарты»*

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Комитета технического регулирования и метрологии Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан.

## Содержание


1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Обозначения и сокращения 3
5 Общие положения 4
6 Нагрузки и соответствующие коэффициенты 6
7 Принципы выбора комбинированных нагрузок 19
Приложение А *(обязательное)* Применение метода допускаемых напряжений и метода предельных состояний 27
Приложение В *(обязательное)* Значения коэффициентов $y_f$, $y_m$ и $y_p$. 30
Приложение С *(информационное)* Общие комментарии по применению коэффициентов $\phi$ 31
Приложение D *(информационное)* Пример модели для оценки значения $\phi_4$ для рельсового грузоподъемного крана 32
Приложение Е *(информационное)* Пример определения нагрузок, вызванных ускорением 37
Приложение F *(информационное)* Пример метода анализа нагрузок при наклонении 47
Приложение Д.А *(информационное)* Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным международным стандартам (международным документам) 53

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

# Краны грузоподъемные ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА НАГРУЗОК И КОМБИНАЦИЙ НАГРУЗОК Часть 1 Общие положения

**Дата введения 2011-07-01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие принципы расчета нагрузок и комбинаций нагрузок, для подтверждения несущей способности конструктивных и механических элементов кранов, как определено в ISO 4306-1.

Данные методы расчета основаны на кинетическом анализе твердого тела и упруго-статическом анализе, но допускается использование более прогрессивных методов (расчетов или испытаний) для оценки воздействия нагрузок и комбинаций нагрузок. А также эти расчеты приемлемы для величин коэффициентов динамической нагрузки, при условии, что при этом обеспечиваются, по крайней мере, равноценные степени работоспособности.

Настоящий стандарт предназначается для двух различных видов применения:

a) стандарт содержит общую форму, содержание и области значений параметров для специальных стандартов к отдельным типам грузоподъемных устройств;

b) в стандарте предусмотрена основа по согласованию нагрузок и комбинаций нагрузок между разработчиком или производителем и потребителем устройства для тех видов грузоподъемных устройств, для которых не существует специальных норм.

При применении настоящего стандарта для различных видов грузоподъемных устройств, работающих в аналогичных условиях эксплуатации и условиях окружающей среды необходимо определить эквивалентную стойкость к отказам.

ПРИМЕЧАНИЕ Упруго-статический анализ – расчет нагрузки (исследования деформации) неподвижных частей конструкции.

## 2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные нормативные документы:

**Издание официальное**

СТ РК 1.9-2007 Государственная система технического регулирования Республики Казахстан. Порядок применения международных, региональных и национальных стандартов иностранных государств, других нормативных документов по стандартизации в Республике Казахстан.

ISO 4302:1981Cranes - Wind load assessment (Краны грузоподъемные. Оценка ветровой нагрузки).

ISO 4306 (все части) Cranes - Vocabulary (Краны грузоподъемные. Словарь).

ISO 4310:2009 Cranes - Test code and procedures (Краны грузоподъемные. Нормы, правила и процедуры испытаний).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по ежегодно издаваемому информационному указателю «Нормативные документы по стандартизации» по состоянию на текущий год и соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Ссылочные нормативные документы, приведенные в настоящем разделе, применяются в соответствии с СТ РК 1.9.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяются термины по ISO 4306, а также следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 Нагрузки** (loads): Внешние или внутренние воздействия в виде каких-либо сил, смещений или температур, воздействующих на конструктивные или механические элементы грузоподъемного устройства.

**3.2 Кинетический анализ твердых тел** (kinetic analysis of rigid bodies): Исследование движения и внутренних сил систем, состоящих из элементов, которые считаются неупругими.

**3.3 Кинетический анализ для упругих тел** (kinetic analysis for elastic bodies): Исследование упругих смещений (деформаций), движения и внутренних сил систем, состоящих из элементов, которые считаются упругими.

## 4 Обозначения и сокращения

**Таблица 1 — Основные символы**

| Символ | Описание | Ссылка |
|---|---|---|
| $\phi$ | Коэффициент, учитывающий динамические усилия | Разные |
| $\phi_1$ | Коэффициент, учитывающий воздействия подъема и силы тяжести, действующий на массу грузоподъемного устройства | 6.1.1 |
| $a$ | Составляющая, используемая для определения значения $\phi_1$ | 6.1.1 |
| $\phi_2$ | Коэффициент, учитывающий подъем груза с земли | 6.1.2.1 |
| $\phi_3$ | Коэффициент, учитывающий динамические воздействия при внезапном освобождении части груза | 6.1.2.3 |
| $\phi_4$ | Коэффициент, учитывающий динамические воздействия при движении по неровной поверхности | 6.1.3.2 |
| $\phi_5$ | Коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, возникающие при ускорении приводов крана | 6.1.4 |
| $\phi_6$ | Коэффициент, учитывающий влияние испытаний на воздействие динамических нагрузок | 6.3.2 |
| $\phi_7$ | Коэффициент, учитывающий воздействия упругости, являющиеся следствием от столкновения с буферами | 6.3.3 |
| $HC_1$ до $HC_4$ | Классы подъема, установленные для грузоподъемных устройств | 6.1.2.1 |
| $\beta_2$ | Коэффициент, учитывающий класс подъема | 6.1.2.1 |
| $\beta_3$ | Коэффициент, используемый для определения значения $\phi_5$ | 6.1.2.3 |
| $v_h$ | Постоянная скорость подъема, в метрах в секунду | 6.1.2.2 |
| $F_x$, $F_{x2}$, $F_{x4}$ | Силы буферов | 6.3.3 |
| $\gamma_{Fa}$, $\gamma_{Fb}$, $\gamma_{Fc}$ | Коэффициенты, применяемые для расчета допускаемых напряжений | 7.3.2 |
| $\gamma_p$ | Коэффициент неполной нагрузки | 7.3.3 |
| $\gamma_m$ | Коэффициент сопротивления | Приложение А |
| $\gamma_n$ | Коэффициент, учитывающий эксплуатацию в опасных условиях | 7.3.6 |
| $m$ | Масса нагрузки | 6.1.2.3, 7.3.1 |

**Таблица 1***(продолжение)*

| Символ | Описание | Ссылка |
|---|---|---|
| $\eta m = m - \Delta m$ | Масса части груза, поднятого и оставшегося в подвешенном состоянии | 6.3.1 |
| ПРИМЕЧАНИЕ В приложениях используются дополнительные символы, и там же к ним даются объяснения. | | |

## 5 Общие положения

5.1 Целью расчетов нагрузок, осуществляемых для определения несущей способности, выполняемых в соответствии с настоящим стандартом, является математическое определение того, что грузоподъемное устройство на практике соответствует инструкциям производителя.

Основой предохранения от сбоев (например, деформации, потери устойчивости при упругих деформациях или усталостное напряжение) является сравнение между расчетными значениями напряжений, вызванными нагрузками, и соответствующей вычисленной сопротивляемостью составляющих конструктивных и механических элементов грузоподъемного устройства.

Предохранение от сбоев может потребоваться в отношении устойчивости на опрокидывание. Здесь приводится сравнение между расчетными опрокидывающими моментами, вызванными нагрузками, и расчетным сопротивлением к опрокидыванию грузоподъемного устройства. Кроме того, возможны ограничения по отношению к силам, необходимым для обеспечения устойчивости или для предотвращения нежелательного перемещения части крана или всего крана, например, когда опорные тросы стрелы загружаются или происходит сдвиг крана.

Следует принимать во внимание воздействия разницы между действительными и идеальными геометрическими характеристиками механических и конструктивных систем. Это учитывается в расчетах, выполняемых для подтверждения работоспособности, только в тех случаях, в связи с применяемыми нагрузками, когда это может привести к напряжениям, превышающим установленные пределы.

5.2 Существует два общих подхода к расчету на прочность или подтверждению несущей способности:

а) Метод допускаемых напряжений, при котором расчетное напряжение, вызванное комбинированными нагрузками, сравнивается с допустимым напряжением, установленным для данного вида элемента или условия, подвергающегося проверке. Назначение допустимого напряжения производится на основании эксплуатационного опыта с учетом защиты от сбоев.

ПРИМЕР Вследствие деформации, потери устойчивости при упругих деформациях или усталостного напряжения.

b) Метод предельных состояний, при котором коэффициенты частичной нагрузки используются для увеличения нагрузок перед их объединением и сравнением с предельным состоянием.

ПРИМЕР Вследствие деформации или потери устойчивости при упругих деформациях.

Коэффициент частичной нагрузки для каждой нагрузки устанавливается на основании вероятности и степени точности, с помощью которых можно определить нагрузку. Значения предельного состояния включают нормативную прочность элемента, уменьшенную для отражения статистических изменений его прочности и геометрических параметров.

Использование метода предельных состояний, как правило, дает более точный расчет, так как при нем во внимание принимается более высокая точность в определении массы устройства и меньшая точность значений, отобранных для отражения приложенных нагрузок.

Более детальное описание применения метода допускаемых напряжений и метода предельных состояний приводится в соответствии с Приложением А.

5.3 Для вычисления напряжения от приложенных нагрузок, следует использовать соответствующую модель устройства. В соответствии с условиями настоящего стандарта, нагрузки, которые повлекли переменные во времени воздействия нагрузок, оцениваются как эквивалентные статические нагрузки на основании опыта, испытаний или расчетов. При кинетическом анализе твердых тел можно использовать динамические коэффициенты для оценки сил, необходимых для моделирования реакции упругой системы. В качестве альтернативы можно проводить упруго-кинетический анализ или измерения в условиях эксплуатации, но для точного воспроизведения эксплуатационного режима может потребоваться реальная модель действий оператора крана.

Как для метода допускаемых напряжений, так и для метода предельных состояний и для рассмотрения стабильности и отклонений, нагрузки, комбинированные нагрузки, коэффициенты нагрузок, допускаемое напряжение и предельное состояние назначаются либо на основании практики при соблюдении условий Международных стандартов, либо, на основании данных полученных на основании испытаний или статистических данных. Параметры, используемые в настоящем стандарте, считаются детерминированными.

В условиях, когда удельное нагружающее усилие не может проявляться (например, ветровая нагрузка на кран, используемый вне помещения), тогда

такое нагружающее усилие можно игнорировать в расчетах, предназначенных для подтверждения работоспособности. Подобным образом, нагружающие усилия могут быть модифицированы, когда они являются результатом:

a) условий, запрещенных в инструкциях крана;

b) свойств, не представленных в проекте;

c) условий, о которых предупреждалось или которые были запрещены в соответствии с проектированием устройства.

При использовании вероятностного расчета подтверждения несущей способности необходимо определить соответствующие условия, в частности, допустимую вероятность сбоя.

## 6 Нагрузки и соответствующие коэффициенты

В настоящем разделе приведена информация о нагрузках и областях значений для коэффициентов, используемых в расчетах, предназначенных для подтверждения несущей способности, при определении воздействий нагрузки.

Индивидуальные значения для отдельных видов устройств, отобранные из этих областей значений, можно найти в отдельных частях настоящего стандарта в соответствии с видом устройства.

Нагрузки, воздействующие на грузоподъемное устройство, делятся на такие категории как стандартные, эпизодические, исключительные и разнородные. Единичные нагрузки принимаются во внимание только в том случае, когда они являются значимыми для исследуемого устройства или для его эксплуатации:

a) Стандартные нагрузки, действующие в течение периода нормальной эксплуатации, учитываются в расчетах, выполняемых для подтверждения работоспособности, по отношению к отказам в работе вследствие деформации, потери устойчивости при упругих деформациях и, если необходимо, усталостному напряжению. Они являются результатом воздействия силы тяжести, ускорения или замедления, которые вырабатываются движущими механизмами или тормозами, и воздействующими на массу грузоподъемного устройства и поднятого груза и являются результатом смещения.

b) Эпизодические нагрузки и воздействия, которые появляются редко, обычно не учитываются при оценках усталостного напряжения. Они включают нагрузки, вызванные ветром, снегом и льдом, температурой и наклоном в процессе работы.

c) Исключительные нагрузки и их воздействия появляются редко и обычно могут исключаться при рассмотрении усталостного напряжения. К ним относятся нагрузки, вызванные испытанием, ветром,

амортизирующими силами, наклоном вне периода эксплуатации, аварийным отключением, отказом в работе компонентов привода и внешнее нагружающее усилие основания грузоподъемного устройства.

d) Разнородные нагрузки включают монтажную и демонтажную нагрузки, нагрузки на платформы и средства доступа.

Категория, к которой относится нагрузка, не является показателем важности или критичности этой нагрузки. Например, монтажным и демонтажным нагрузкам относящимся к последней категории следует уделять особое внимание, так как многие аварии случаются именно во время выполнения этих стадий работ.

### 6.1 Стандартные нагрузки

#### 6.1.1 Воздействия подъема и силы тяжести, действующие на массу грузоподъемного устройства

Масса крана включает компоненты, всегда действующие во время работы устройства, за исключением самой полезной нагрузки (см. 6.1.2.) Для некоторых устройств или видов их применения, может существовать необходимость добавить массу для того, чтобы учесть образование наслоений материалов, таких как уголь или подобных частиц, которые накапливаются на кране или его частях.

Гравитационная сила, обусловленная массой крана (собственный вес конструкции), умножается на коэффициент $\phi_1$, где $\phi_1 = 1 \pm a, 0 \leq a \leq 0{,}1$. Таким образом, принимается во внимание колебательное возбуждение структуры грузоподъемного устройства при подъеме полной нагрузки. Всегда существуют два значения коэффициента для отражения верхнего и нижнего значения колебаний.

Коэффициент $\phi_1$ используется при расчетах структуры крана и его опоры; в некоторых случаях, оба значения коэффициента следует применять для того, чтобы найти наиболее критические нагрузки в элементах и компонентах.

Общие комментарии о применении коэффициентов $\phi$ приведены в Приложении С.

#### 6.1.2 Инерционные и гравитационные воздействия, действующие вертикально на полную нагрузку

Масса полной нагрузки включает массу полезной нагрузки, подъемных приспособлений и подъемных тросов.

**6.1.2.1 Класс подъема**

Каждое грузоподъемное устройство в соответствии с его динамическими характеристиками относится к определенному классу подъема от $HC_1$ до $HC_4$. Классы подъема кранов приведены в Таблице 2 и

определяются на основании опыта. Соответствующие значения $\beta_2$ и $\phi_2$ приведены в Таблице 2 и на Рисунке 1.

Выбор класса подъема зависит от вида грузоподъемного устройства и от других положений настоящего стандарта.

Значения $\phi_2$ можно определить с помощью испытания или анализа без ссылки на класс подъема.

**Таблица 2 — Значения $\beta_2$ и $\phi_2$**

| Класс подъема крана | $\beta_2$ | $\phi_2$ | |
|---|---|---|---|
| | | $\phi_2$,min | $\phi_2$, max |
| $HC_1$ | 0,2 | 1 | 1,3 |
| $HC_2$ | 0,4 | 1,05 | 1,6 |
| $HC_3$ | 0,6 | 1,1 | 1,9 |
| $HC_4$ | 0,8 | 1,15 | 2,2 |

**6.1.2.2 Подъем груза с земли**

При подъеме груза, динамические воздействия возникающие в результате отрыва груза от земли на грузоподъемное устройство рассчитываются умножением гравитационной силы, обусловленной массой всего груза, на коэффициент 0,2 (см. Рисунок 1).

ПРИМЕЧАНИЕ Динамические воздействия, описанные в настоящем подпункте, возникают, когда привод развивает скорость перед захватом груза грузоподъемным приспособлением. Они являются результатом повышения кинетической энергии и крутящего момента на валу привода.

Коэффициент $\phi_2$ рассчитывается по формулам (1), (2):

$$\phi_2 = \phi_{2,\min}, \quad (1)$$

для $v_h \leq 0{,}2$ м/с

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 \, (v_h - 0{,}2), \quad (2)$$

для $v_h > 0{,}2$ м/с

где

$v_h$ - постоянная скорость подъема, в метрах в секунду, зависящая от подъемного приспособления, выведенная из установившегося числа оборотов незагруженного мотора или двигателя;

$\beta_2$ - коэффициент, предназначенный для определенного класса подъема в соответствии с Таблицей 2;

$\phi_{2,\min}$ приводится в Таблице 2 для определенного класса подъема.

Когда система контроля подъемного привода обеспечивает постоянную замедленную скорость, то такая скорость принимается во внимание только при нормальных условиях эксплуатации для определения значения $\phi_2$.

При других обстоятельствах следует рассматривать два условия, принимая во внимание значение $\phi_2$ при нормальных условиях эксплуатации в соответствии с 6.1.2.2.1, и значение $\phi_{2,max}$ для исключительных случаев в соответствии с 6.1.2.2.2.

**6.1.2.2.1 При нормальных условиях эксплуатации**

a) Когда крановщик может выбрать постоянную замедленную скорость, то при определении значения $\phi_2$ следует использовать эту скорость.

b) Когда обеспечивается непрерывное регулирование скорости или когда такой контроль может выполняться крановщиком, то для соответствующего класса подъема в соответствии с Рисунком 1 следует выбрать значение $\phi_{2,min}$

**6.1.2.2.2 Для исключительных случаев**

Для кранов с типом контроля a), как указано в 6.1.2.2.1, значение $\phi_{2,max}$ основывается на значении $v_h$, выведенного в соответствии с максимальной номинальной скоростью мотора или двигателя без нагрузки.

Для кранов с типом контроля b), как указано в 6.1.2.2.1, значение $\phi_{2,max}$ для данного класса подъема основывается на значении $v_h$, выведенного из значения, равного как минимум 0,5 максимальной номинальной скорости мотора или двигателя без нагрузки.

Общие комментарии по применению коэффициентов $\phi$ даются в Приложении С.

**6.1.2.3 Воздействия от внезапного освобождения части полезной нагрузки**

Для грузоподъемных устройств, для которых освобождение или сброс части полезной нагрузки является нормальным рабочим процессом, например, при использовании захватов или электромагнитов, максимальное динамическое воздействие на кран можно моделировать с помощью умножения полезной нагрузки на коэффициент $\phi_3$ Рисунок 2.

Значение $\phi_3$ рассчитывается по формуле (3):

$$\phi_3 = 1 - \frac{\Delta_m}{m}(1+\beta_3), \qquad (3)$$

где

$\Delta_m$ - освобожденная или сброшенная часть полезной нагрузки;

$m$ - масса полезной нагрузки;

$\beta_3$ = 0,5 для кранов, оборудованных захватами или другими подобными медленно отпускающими устройствами;

$\beta_3$ = 1 для кранов, оборудованных электромагнитами или другими подобными быстро спускаемыми устройствами.

Общие комментарии по применению коэффициентов $\phi$ приводятся в Приложении С.

### 6.1.3 Нагрузки, вызванные перемещением по неровной поверхности

#### 6.1.3.1 Грузоподъемные устройства, перемещающиеся по дорожному полотну или вне дорожного полотна

Воздействия от перемещения с нагрузкой или без нее, по дорожному полотну или вне дорожного полотна, зависят от конфигурации устройства (распределение масс), эластичности устройства и/или его приостановки, скорости передвижения и от вида и состояния поверхности для движения. Динамические воздействия оцениваются на основании опыта эксплуатации, испытания или с помощью вычислений с использованием соответствующей модели для крана и поверхности для движения.

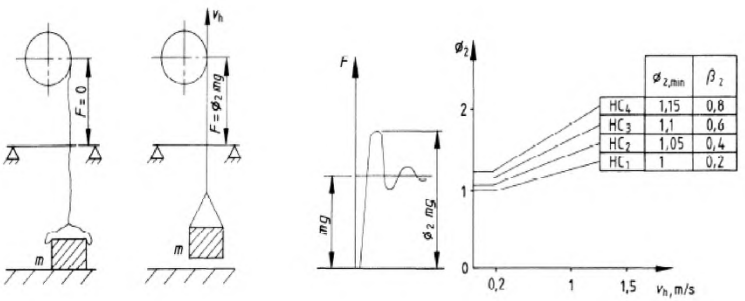



**Рисунок 1 — Коэффициент $\phi_2$**

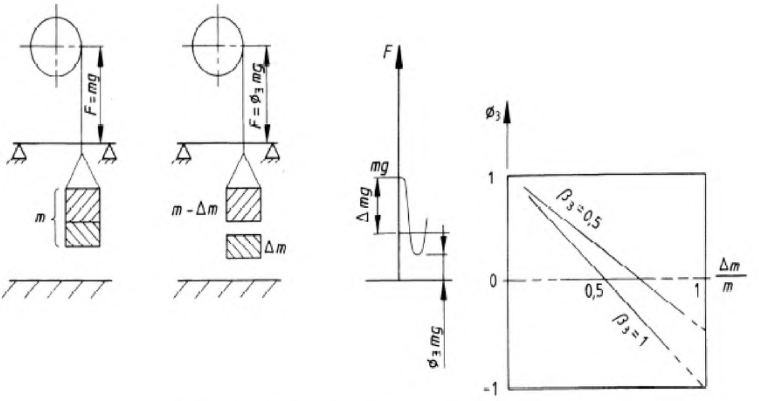



**Рисунок 2 — Коэффициент $\phi_3$**

**6.1.3.2 Рельсовые грузоподъемные устройства**

Воздействия от передвижения с нагрузкой или без нее по рельсовым путям, имеющим геометрические или упругие свойства, которые вызывают ускорение колес устройства, зависят от конфигурации устройства (распределение масс, упругость устройства и/или его приостановка), скорости передвижения и диаметра колес. Они оцениваются на основании опыта эксплуатации, испытания или с помощью вычислений, с использованием соответствующей модели для крана и путей.

Вызываемые перегрузки можно учесть с помощью умножения гравитационных сил, обусловленных массой грузоподъемного устройства и полной нагрузкой, на коэффициент $\phi_4$. В международных стандартах для отдельных видов кранов могут содержаться допустимые отклонения для рельсовых путей и указываться условия, в рамках которых значение $\phi_4$ может равняться одному.

Общие комментарии по применению коэффициентов $\phi$ даются в Приложении С.

Пример модели оценки значения $\phi_4$ для учета вертикальных перегрузок, приходящихся на колеса крана, передвигающегося по рельсовым путям с зазорами или ступенями, приводится в Приложении D.

**6.1.4 Нагрузки, вызванные ускорением всех приводов крана, включая приводы подъема**

Нагрузки, возникающие в грузоподъемном устройстве от ускорения или от торможения, вызванные усилием, развиваемым приводом, вычисляются с помощью кинетической модели твердых тел, при которой принимаются во внимание геометрические свойства и распределение масс привода

грузоподъемного устройства и, в соответствующих случаях, являются результатом внутренних потерь на трение. Для этой цели весь груз фиксируется на вершине стрелы грузоподъемного крана или непосредственно под грузовой тележкой крана.

Анализ твердых тел не отражает напрямую упругие воздействия. Для того чтобы их учесть, изменение усилия, развиваемого приводом *(ΔF)*, включая либо ускорение, либо торможение, можно умножить на коэффициент $\phi_5$ и алгебраическим способом прибавить к усилию, которое было до ускорения или торможения. Затем это увеличенное усилие применяется к компонентам, уязвимым для усилия, развиваемого приводом, и в соответствующих случаях, к крану и всему грузу, Рисунок 3.

Область значений для $\phi_5$ это $1 \leq \phi_5 \leq 2$. Используемое значение зависит от скорости изменения усилия привода или тормозного усилия и от распределения масс и упругих свойств системы. Как правило, самые низкие значения соответствуют системам, в которых усилия изменяются равномерно, а самые высокие значения соответствуют тем, в которых происходят внезапные изменения.

Для центробежных сил, $\phi_5$ может приниматься как один.

Когда сила, которая может передаваться, ограничивается за счет трения или особенностями приводного механизма, следует использовать ограниченную силу и коэффициент $\phi_5$, соответствующие данной системе.

Общие комментарии по применению коэффициентов $\phi$ даются в Приложении С.

Пример определения нагрузок, вызванных ускорением мостового крана, имеющего несинхронный ходовой механизм и несимметричное распределение нагрузки приводится в Приложении Е.

**6.1.5 Нагрузки, вызванные смещениями**

Необходимо учитывать нагрузки от смещений, включенных в расчеты, например, те, которые являются результатом предварительного напряжения и которые находятся в пределах, необходимых для предупреждения наклона и других компенсационных систем контроля.

Необходимо учесть и другие нагрузки, например, те, которые появляются в результате смещений, не выходящих за установленные пределы, например, изменение ширины колеи между рельсами или оседание опор.

### 6.2 Эпизодические нагрузки

#### 6.2.1 Влияние климата

##### 6.2.1.1 Ветер в процессе работы

Нагрузки, вызванные ветром в процессе работы, рассчитываются в соответствии с ISO 4302.

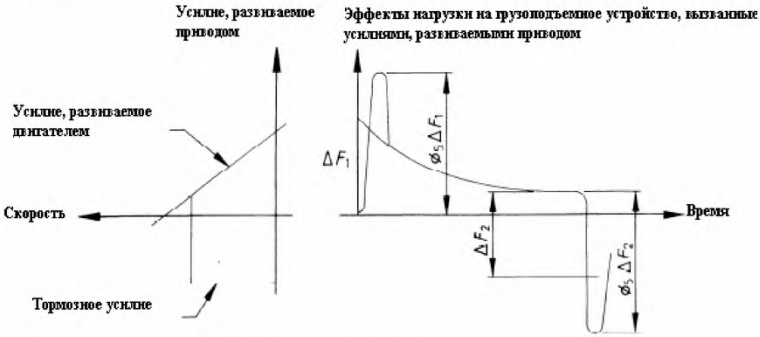



**Рисунок 3 — Коэффициент $\phi_5$**

##### 6.2.1.2 Нагрузки, вызванные снегом и льдом

В соответствующих случаях следует учитывать нагрузки, вызванные снегом и льдом.

##### 6.2.1.3 Нагрузки, вызванные изменением температур

Следует учитывать нагрузки, вызванные расширением или сжатием деталей из-за изменений температуры окружающей температуры.

#### 6.2.2 Нагрузки, вызванные наклоном

В настоящем подпункте описываются нагрузки при наклоне, которые влияют на направляющие механизмы (такие как направляющие ролики или гребни колес) управляемых кранов на колесном ходу во время их движения или перемещения при стационарном движении. Эти нагрузки являются следствием сил направляющих механизмов, воздействующих на колеса и предотвращающих их свободное качение, естественное направление передвижения. Подобные нагрузки, вызванные ускорением, воздействующим на асимметричное распределение масс, которые могут повлечь наклон крана, учитываются в соответствии с условиями 6.1.4.

Нагрузки, вызванные наклоном, описанные выше, обычно рассматриваются как эпизодические нагрузки, но частота их появления зависит от вида, конструкции и условий эксплуатации крана. В отдельных случаях, частота их проявления определяет, будут ли они считаться эпизодическими нагрузками или регулярными. Руководство по определению

величины нагрузки от наклона и ее категории дается в настоящем стандарте в соответствии с видом крана.

Пример метода для анализа нагрузок, вызванных наклоном, для грузоподъемного крана с жесткой структурой, передвигающегося с постоянной скоростью приводится в Приложении F. Для кранов, структура которых не является жесткой в отношении применяемых сил наклонов или которые имеют специально контролируемые направляющие механизмы движения, следует использовать соответствующие модели, учитывающие свойства системы.

### 6.3 Исключительные нагрузки

#### 6.3.1 Ветровые нагрузки вне эксплуатации

При рассмотрении ветрового режима вне эксплуатации необходимо учитывать гравитационную силу, действующую на часть массы поднятого груза, $\eta m$, находящегося в подвешенном состоянии на кране, по формуле (4):

$$\eta m = m - \Delta m, \tag{4}$$

где

$m$ - $\Delta m$ - часть всего груза, подвешенного на кране,

$m$ - масса всего груза.

Ветровую нагрузку следует рассчитывать в соответствии с ISO 4302.

#### 6.3.2 Испытательные нагрузки

Значения испытательных нагрузок должны соответствовать ISO 4310.

Когда значения для динамических или статических испытательных нагрузок превышают минимум, указанный в ISO 4310, может потребоваться проведение вычислений на компетентность для соответствующих условий испытаний. В таком случае динамическая испытательная нагрузка умножается на коэффициент $\phi_6$, рассчитываемый по формуле (5):

$$\phi_6 = 0{,}5(1 + \phi_2), \tag{5}$$

где $\phi_2$ рассчитывается в соответствии с 6.1.2.

Общие комментарии по применению коэффициентов $\phi$ приводятся в Приложении С.

#### 6.3.3 Силы от буферов

При использовании буферов, силы, действующие на кран при столкновении с ними, вычисляются из кинетической энергии всех соответствующих частей крана, двигающихся в целом со скоростью равной от 70 % до 100 % от номинальной скорости. Нижние значения можно использовать, когда они обоснованы, например, наличием автоматической

системы контроля, обеспечивающей замедление движения, или если последствия от столкновения с буфером не выходят за установленные пределы.

Вычисления могут основываться на модели для твердых тел. Необходимо учитывать поведение крана и буферной системы при эксплуатации.

Когда грузоподъемный кран или его деталь защищены против вращения, например, направляющими рельсами, то можно предположить, что деформации от буферов равны, в случае если характеристики буферов одинаковые, силы от буферов будут равными. Такой случай изображен на Рисунке 4 a), где $F_{x2} = F_{x4} = F_{x12}$.

Когда кран или его деталь не защищены против вращения, силы буферов вычисляются с учетом распределения соответствующих масс и характеристик буферов. Такой случай изображен на Рисунке 4 b).

Возникающие в результате силы, такие как горизонтальные инерционные силы в равновесии с силами буферов, умножаются на коэффициент $\phi_7$ для расчета упругих воздействий, которые не могут быть оценены с помощью анализа твердых тел. Коэффициент $\phi_7$ равен 1,25 в случае, если буфера имеют линейные характеристики (например, пружины), и 1,6 в случае, если буфера имеют прямоугольные характеристики (например, гидравлические буфера с постоянной силой). Для буферов с другими характеристиками необходимо использовать другие значения, обоснованные вычислениями или испытаниями (см. ПРИМЕЧАНИЕ 2 , Рисунок 5).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 При расчете сил буферов не следует принимать во внимание, воздействия подвешенных, способных качаться грузов.

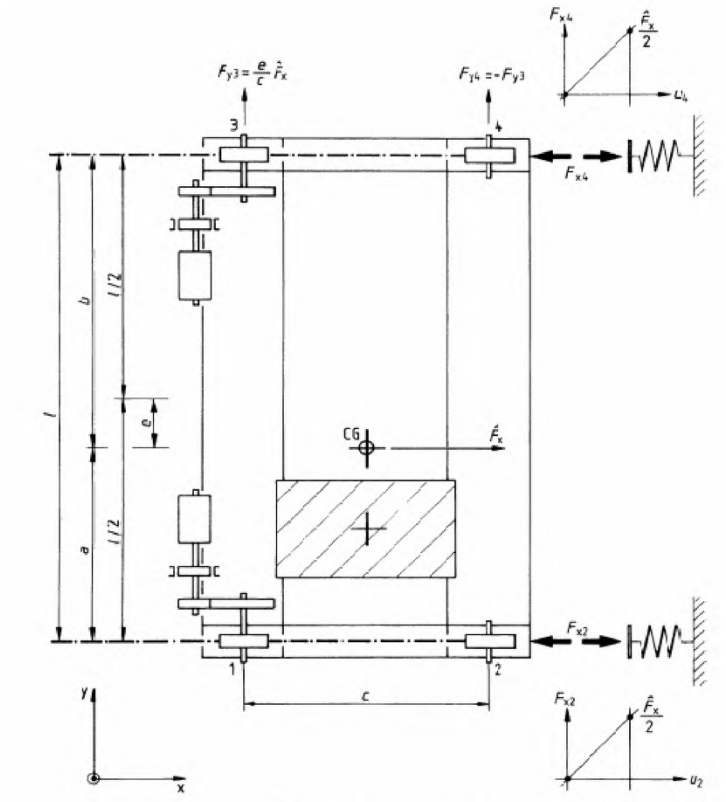
ПРИМЕЧАНИЕ 2 Промежуточные значения $\phi_7$ вычисляются в соответствии с формулами (6), (7):

$$\phi_7 = 1{,}25, \text{ если } 0 < \xi < 0{,}5 \qquad (6)$$

$$\phi_7 = 1{,}25 + 0{,}7(\xi - 0{,}5), \text{ если } 0{,}5 < \xi < 1 \qquad (7)$$

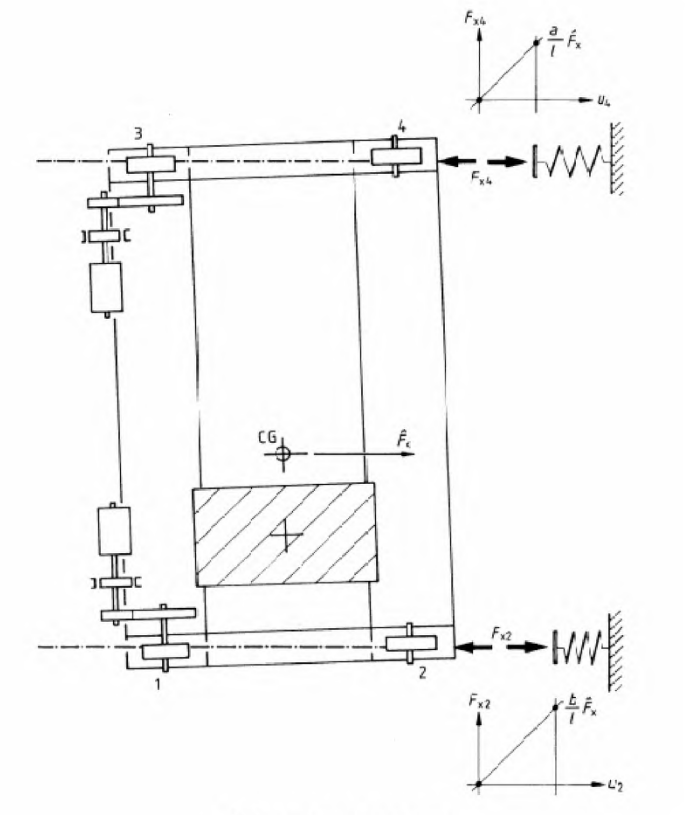
где

$\xi = \frac{1}{F_u}\int_o^u F\, du$ - относительная энергия буфера




CG – центр тяжести

а) Кран, направляемый рельсами в горизонтальном направлении ( $u_2 = u_4$ )

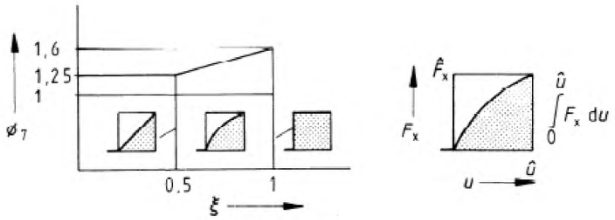



CG – центр тяжести

b) Кран, не защищенный против вращения

($F_{y3} = F_{y3} = 0$)

**Рисунок 4 — Примеры буферных сил и буферной деформации**
(четырехколесный мостовой кран)




$$\xi = \frac{1}{F_u}\int_o^u F\, du$$ относительная энергия буфера

Для буфера с линейными характеристиками: $\xi = 0{,}5$

Для буфера с прямоугольными характеристиками: $\xi = 1$

**Рисунок 5 — Коэффициент $\phi_7$**

**6.3.4 Опрокидывающие силы**

Если кран с горизонтально закрепленным грузом может опрокинуться, когда он, его груз или подъемное приспособление сталкиваются с препятствием, необходимо определить статические силы, являющиеся результатом этого.

Если наклоненный кран может без контроля вернуться в свою нормальную позицию, следует учитывать итоговое влияние на опорную конструкцию.

**6.3.5 Нагрузки, вызванные аварийным отключением**

Нагрузки, вызванные аварийным отключением, оцениваются в соответствии с 6.1.4, принимая во внимание наиболее неблагоприятное состояние привода (т.е. наиболее неблагоприятное сочетание ускорения и нагружающее усилие) во время выключения. Значение коэффициента $\phi_5$ следует выбирать из диапазона $1{,}5 \leq \phi_5 \leq 2$.

**6.3.6 Нагрузки, вызванные отказом в работе механизма или деталей крана**

Если в дополнение к основным тормозам безопасность обеспечивается еще и аварийными тормозами, то отказ в работе и активация аварийных тормозов предполагаются только при наиболее неблагоприятных условиях.

Когда механизмы продублированы из соображений безопасности, следует допускать отказ в работе в любой части любой из двух систем.

В обоих случаях, нагрузки, являющиеся результатом таких ситуаций, оцениваются в соответствии с 6.1.4, принимая во внимание любое воздействие вследствие передачи сил.

**6.3.7 Внешнее нагружающее усилие основы грузоподъемного крана**

Примерами нагружающего усилия основы грузоподъемного крана являются землетрясение или волновые движения.

Нагрузки, вызванные такими нагружающими усилиями, учитываются только, когда они представляют серьезную опасность.

ПРИМЕЧАНИЕ Могут применяться специальные требования, указанные в инструкциях или спецификациях.

**6.4 Разнородные нагрузки**

**6.4.1 Нагрузки, вызванные при монтаже, демонтаже и транспортировке**

Необходимо учитывать нагрузки, действующие на каждой стадии монтажа и демонтажа, включая те, которые являются следствием скорости ветра равной 8,3 м/с или выше. Для отдельных видов кранов могут быть указаны наибольшие значения в других частях настоящего стандарта. Они объединяются в соответствии с 7.2.

В некоторых случаях следует учитывать нагрузки, вызванные при транспортировке.

**6.4.2 Нагрузки на платформы и другие средства, предусмотренные для доступа**

Такие нагрузки считаются местными, они действуют только на сами устройства и на их непосредственные опорные элементы.

Необходимо учитывать следующие нагрузки:

a) 3000 Н, когда материалы могут храниться на этих устройствах;

b) 1500 Н, средства, предназначенные только для доступа;

c) не менее 300 Н, горизонтально на рельсах, в зависимости от местоположения и использования.

**7 Принципы выбора комбинированных нагрузок**

**7.1 Основные концепции**

Нагрузки необходимо объединять для определения напряжений, которые будет переносить кран при нормальных условиях эксплуатации, например, с помощью упруго-статического вычисления. Для этого:

a) рассматривается наиболее неблагоприятная позиция и конструкция крана и предполагается, что нагрузки действуют по абсолютному значению, положению и направлению, приводя к неблагоприятным последствиям в критических точках, определяемых с помощью оценки на основании технических анализов;

b) нагрузки можно объединить при значениях, определяемых в настоящем стандарте или, в соответствии с обстоятельствами, их можно объединить с некоторыми нагрузками, приведенными с помощью коэффициентов к наиболее близким к практике условиям нагружающего усилия.

Комбинированные нагрузки, соответствующие отдельным видам кранов, соответствуют принципам, установленным в 7.1.1, 7.2 и в Таблице 3.

**Таблица 3 — Нагрузки и комбинации нагрузок**

| 1 | 2 | | 3 | | | | | 4 | | | | | | 5 | | | | | | | | | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Категории нагрузок | Нагрузки, $f_i$ | | Комбинированные нагрузки A | | | | | Комбинированные нагрузки B | | | | | | Комбинированные нагрузки C | | | | | | | | | Номер линии |
| | | | Коэффициенты частичной нагрузки $\gamma_p$ | A1 | A2 | A3 | A4 | Коэффициенты частичной нагрузки $\gamma_p$ | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | Коэффициенты частичной нагрузи $\gamma_p$ | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | |
| Стандартные, пункт 6.1 | Гравитация, ускорение, толчки | 1) Масса грузоподъемного крана | $\gamma_{pA1}$ | $\phi_1$ | $\phi_1$ | 1 | - | $\gamma_{pB1}$ | $\phi_1$ | $\phi_1$ | 1 | - | - | $\gamma_{pC1}$ | $\phi_1$ | 1 | $\phi_1$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | 2) Масса всего груза | $\gamma_{pA2}$ | $\phi_2$ | $\phi_3$ | - | - | $\gamma_{pB2}$ | $\phi_2$ | $\phi_3$ | - | - | - | $\gamma_{pC2}$ | $\phi_2$ | $\eta$ | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| | | 3) Масса поднятого груза и грузоподъемного крана, передвигающегося по неровной поверхности | $\gamma_{pA3}$ | - | - | - | $\phi_4$ | $\gamma_{pB3}$ | - | - | - | $\phi_4$ | $\phi_4$ | $\gamma_{pC3}$ | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 |

**Таблица 3** *(продолжение)*

| 1 | 2 | | | 3 | | | | | 4 | | | | | | 5 | | | | | | | | | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Эпизодические пункт 6.2 | Ускорение от привода | 4) Масса грузоподъемного крана и всего груза | a) Исключенный привод подъема | $y_{pA4}$ | $\phi_5$ | $\phi_5$ | - | - | $y_{pB4}$ | $\phi_5$ | $\phi_5$ | - | - | - | $y_{pC4}$ | - | - | $\phi_5$ | - | - | - | - | - | 4 |
| | | | b) Включенный привод подъема | | | | 5 | 5 | | | | 5 | 5 | | | | | | | | | | | 5 |
| | Смещения | 5) пункт 6.1.5 | | $y_{pA5}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | $y_{pB5}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | | $y_{pC5}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| | Влияние климата | 1) Ветер в период работы | | | | | | | $y_{pB6}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | | $y_{pC6}$ | - | - | - | - | - | - | - | - | 7 |
| | | 2) Нагрузки, вызванные снегом и льдом | | | | | | | $y_{pB7}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | | $y_{pC7}$ | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 8 |
| | | 3) Изменения температур | | | | | | | $y_{pB8}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | | $y_{pC8}$ | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 9 |
| | Наклон | 4) пункт 6.2.2 | | | | | | | $y_{pB9}$ | - | - | - | - | | $y_{pC9}$ | - | - | - | - | - | - | - | - | 10 |

**Таблица 3** *(продолжение)*

| 1 | 2 | 3 | | | | | 4 | | | | | | 5 | | | | | | | | | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1) Подъем груза с земли | | | | | | | | | | | | $y_{pC10}$ | $\varphi_2$ | - | - | - | - | - | - | - | 11 |
| | 2) Нагрузки из-за ветра вне периода эксплуатации | | | | | | | | | | | | $y_{pC11}$ | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 12 |
| | 3) Испытательные нагрузки | | | | | | | | | | | | $y_{pC12}$ | - | - | $\varphi_6$ | - | - | - | - | - | 13 |
| | 4) Силы буферов | | | | | | | | | | | | $y_{pC13}$ | - | - | - | $\phi$ | - | - | - | - | 14 |
| | 5) Опрокидывающие силы | | | | | | | | | | | | $y_{pC14}$ | - | - | - | - | 1 | - | - | - | 15 |
| | 6) Аварийное отключение | | | | | | | | | | | | $y_{pC15}$ | - | - | - | - | - | $\phi_5$ | - | - | 16 |
| | 7) Сбой механизма | | | | | | | | | | | | $y_{pC16}$ | - | - | - | - | - | - | $\phi_5$ | - | 17 |
| | 8) Нагружающее усилие основы грузоподъемного крана | | | | | | | | | | | | $y_{pC17}$ | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 18 |
| | Коэффициент прочности $y_r$ | $y_{fA}$ | | | | | $y_{fB}$ | | | | | | $y_{fC}$ | | | | | | | | | 19 |
| A1 и B1 | Комбинированные нагрузки<br>Грузоподъемные краны в нормальных условиях работы, при подъеме и размещении грузов, без ветра в рабочем режиме и нагрузок от других климатических воздействий (A1), и с ветром в рабочем режиме и нагрузками от других климатических воздействий (B1).<br>В общем, возможно одновременное выполнение подъема, передвижения, поворотов и движения стрелы крана в различных направлениях. Различные нагрузки вследствие таких движений следует объединять в соответствии с определенными условиями работы. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Таблица 3** *(продолжение)*

| | |
|---|---|
| A2 и B2 | Грузоподъемные краны в нормальных условиях работы, при внезапном освобождении части поднимаемого груза, без ветра в рабочем режиме и нагрузок от других климатических воздействий (A2), и с ветром в рабочем режиме и нагрузками от других климатических воздействий (B2).<br>Усилия, развиваемые приводом, необходимо объединить также как и A1 и B1. |
| A3 и B3 | Грузоподъемные краны в нормальных условиях работы, при ускорении подъема/опускания подвешенного груза, без ветра в рабочем режиме и нагрузок от других климатических воздействий (A3), и с ветром в рабочем режиме и нагрузками от других климатических воздействий (B3).<br>Другие усилия, развиваемые приводом, необходимо объединить также как и A1 и B1. |
| A4 и B4 | Грузоподъемные краны в нормальных условиях работы, передвигающиеся по неровной поверхности или дороге, без ветра в рабочем режиме и нагрузок от других климатических воздействий (A4), и с ветром в рабочем режиме и нагрузками от других климатических воздействий (B4).<br>Усилия, развиваемые приводом, необходимо объединить также как и A1 и B1. |
| B5 | Грузоподъемные краны в нормальных условиях работы, передвигающиеся по неровной поверхности с постоянной скоростью и наклонением, с ветром в рабочем режиме и нагрузками от других климатических воздействий. |
| C1 | Грузоподъемные краны в рабочих условиях, поднимающие груз с земли при исключительных обстоятельствах, при которых используется $\phi_2$ в соответствии с 6.1.2.2.2. |
| C2 | Грузоподъемные краны вне рабочих условий, включая ветер вне эксплуатации и нагрузки от других климатических воздействий. |
| C3 | Грузоподъемные краны в условиях испытаний.<br>Усилия, развиваемые приводом, необходимо объединить также как и A1 и B1. |
| C4-C8 | Грузоподъемные краны с полной нагрузкой в сочетании с такими нагрузками, как силы буферов (C4), опрокидывающие силы (C5), аварийное выключение (C6), отказ в работе механизма (C7), погрузка основы грузоподъемного крана (C8). |
| ПРИМЕЧАНИЕ Информация о монтажных и демонтажных нагрузках (см. п. 7.2). | |

**7.1.1 Основные комбинации нагрузок**

Основные комбинированные нагрузки приведены в Таблице 3. Как правило, комбинированные нагрузки А включают стандартные нагрузки, комбинированные нагрузки В включают стандартные нагрузки, объединенные с эпизодическими нагрузками, а комбинированные нагрузки С включают стандартные нагрузки, объединенные с эпизодическими и исключительными нагрузками.

## 7.2 Комбинированные нагрузки, вызванные при монтаже, демонтаже и транспортировке

Необходимо рассмотреть каждый этап монтажа и демонтажа, принимая во внимание соответствующие нагрузки и комбинации нагрузок, установленные настоящим стандартом в соответствии с видом крана. Расчеты, производимые для подтверждения работоспособности, необходимо выполнять для каждого этапа существенной нагрузки элемента или детали.

В некоторых случаях необходимо принимать во внимание нагрузку, являющуюся следствием транспортировки.

## 7.3 Применение Таблицы 3

**7.3.1 Общие положения**

Массы, указанные в Таблице 3, столбец 2, строк 1 - 3, необходимо умножить на гравитационное ускорение $g$, и массы в колонке 2, строки 4 и 5, на соответствующие ускорения. Полученные нагрузки необходимо умножить на соответствующие коэффициенты или на 1.

Необходимо чтобы каждая комбинация нагрузок соответствовала условиям 7.1.

**7.3.2 Метод допускаемых напряжений**

Допускаемое напряжение для комбинаций нагрузок А, В и С определяется с помощью разделения соответствующего заданного сопротивления материала, элемента, детали или соединения на $\gamma_{fA}$, $\gamma_{fB}$ или $\gamma_{fC}$.

ПРИМЕР Напряжение при деформации, изгиб или предел упругой устойчивости

Значения для коэффициентов $\gamma_{fA}$, $\gamma_{fB}$ и $\gamma_{fC}$ для этого метода приведены в Таблице В.1.

**7.3.3 Метод предельных состояний**

Различные нагрузки необходимо умножать на коэффициенты частичной нагрузки $\gamma_p$ в зависимости от вида единичных и комбинированных нагрузок А, В или С перед их применением для определенной модели.

Коэффициенты частичной нагрузки $y_9$ перечислены в Таблице 3 колонках 3, 4 и 5.

Диапазоны значений коэффициента частичной нагрузки $y_p$ приведены в Таблице В.1.

**7.3.4 Упругие смещения**

В некоторых случаях, упругие смещения могут вызвать отказ крана при выполнении работ, повлиять на устойчивость или повлиять на надлежащее функционирование механизмов. В таких случаях, в расчетах, производимых для подтверждения несущей способности, необходимо учесть смещения, и, в соответствующих случаях, вычисленные смещения необходимо сравнить с установленными пределами.

**7.3.5 Проверка усталостной прочности**

Необходимо учитывать воздействия от усталостного напряжения. В случаях, когда необходимо провести проверку на усталостную прочность, она выполняется в соответствии с принципами, установленными в 7.1. Вообще, необходимо принимать во внимание комбинированные нагрузки А1, А2, А3 и А4 (стандартные нагрузки).

Для некоторых случаев необходимо учитывать эпизодические нагрузки, такие как ветер во время эксплуатации, наклон и исключительные нагрузки, такие как испытательные нагрузки и погружения основания грузоподъемного крана (например, волновые воздействия).

**7.3.6 Эксплуатация в опасных условиях**

В особых случаях, когда последствия от отказов (например, ковшовых разливочных кранов или кранов, используемых в области ядерных разработок) в работе исключительно тяжелые, необходимо добиться повышенной надежности с помощью использования коэффициента риска $y_n > 1$, значение которого необходимо выбирать в соответствии с требованиями к определенной области применения данного типа крана.

С помощью метода допускаемых напряжений, допускаемое напряжение необходимо разделить на соответствующий коэффициент. С помощью метода предельных состояний, нагрузки умножаются на $y_n$. (см. Приложение А).

## Приложение А
*(обязательное)*

## Применение метода допускаемых напряжений и метода предельных состояний

### А.1 Введение

Принципы, установленные в настоящем стандарте для определения единичных нагрузок и комбинации нагрузок, принимаемых во внимание в расчетах, производимых для подтверждения несущей способности, подходят как для метода допускаемых напряжений, так и для метода предельных состояний. В настоящем приложении в общих чертах описывается их применение.

### А.2 Метод допускаемых напряжений

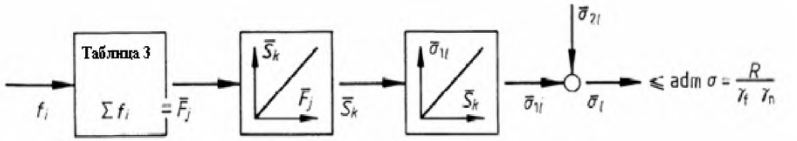
Единичные нагрузки, $f_i$, рассчитываются и увеличиваются при необходимости с помощью соответствующих коэффициентов $\phi$. Затем их объединяют в соответствии с комбинированными нагрузками (см. Таблица 3). Комбинированная нагрузка $F_i$ используется для определения итоговых воздействий нагрузок, $S_k$, т.е. внутренние силы и движения в элементах или усилия, воздействующие на опоры.

Напряжения, $\sigma_{1l}$, являющиеся следствием воздействий от нагрузок на определенный элемент или деталь, рассчитываются и объединяются с любыми напряжениями, $\sigma_{2l}$, являющиеся результатом локальных воздействий. Итоговое расчетное напряжение $\sigma_l$ необходимо сравнить с соответствующим допустимым значением σ.

Допустимые напряжения рассчитываются с помощью деления указанной прочности $R$ материала, такой как напряжение, соответствующее динамическому сопротивлению сдвигу, предел упругой устойчивости или усталостная прочность, на коэффициент $\gamma_b$, указанный в Таблице 3 в соответствии с основной комбинированной нагрузкой (см. 7.1.1), и, в соответствующих случаях, на коэффициент риска $\gamma_n$ (см. 7.3.6).

Требуется особое внимание при исследовании функциональности при применении метода допускаемых напряжений для случаев, когда внутренние силы не являются линейно пропорциональными нагрузкам, которые их произвели или критические значения нагрузок являются результатом объединения независимо изменяющихся нагрузок, которые приводят к напряжениям с противоположными знаками.

Схема, иллюстрирующая метод допускаемых напряжений, показана на Рисунке А.1.




$f_i$ - нагрузка I, воздействующая на элемент или деталь;

$F_j$ - комбинированная нагрузка $j$;

$S_k$ - воздействия нагрузок в секции $к$ элементов или несущих частях, таких как внутренние силы и движения, являющиеся результатом комбинированной нагрузки $F_j$;

$\sigma_{1l}$ - напряжения в определенном элементе $l$, являющиеся результатом воздействий нагрузок $S_k$;

$\sigma_{2l}$ - напряжения в определенном элементе $l$ возникающие в результате локальных воздействий;

$\sigma_l$ - итоговое расчетное напряжение в определенном элементе $l$

$R$ - указанная сила или характеристическое сопротивление материала, определенного элемента или соединения, такое как напряжение, относящееся к динамическому сопротивлению сдвигу, пределу упругой устойчивости или усталостной прочности (предельные состояния);

*adm* σ - допускаемые напряжения;

$y_f$ - коэффициенты, применяемые к указанной силе в соответствии с рассматриваемой комбинированной нагрузкой;

$y_n$ - коэффициент риска, в соответствующих случаях.

**Рисунок А.1 — Типичная схема метода допускаемых напряжений**

### А.3 Метод предельных состояний

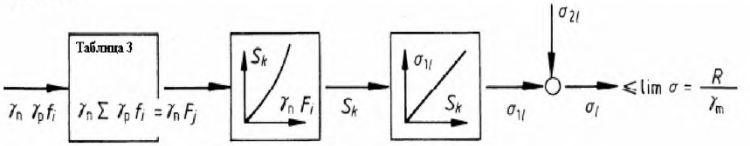
Единичные или характерные нагрузки, $f_i$, вычисляются и увеличиваются при необходимости с помощью коэффициентов $\phi$, умноженных на соответствующие коэффициенты частичной нагрузки $y_p$. Затем они объединяются в соответствии с рассматриваемыми нагрузками в комбинированную нагрузку $F_j$. Коэффициенты $\phi$ и коэффициенты частичной нагрузки $y_p$ для отдельных нагрузок приведены в Таблице В.1.

В соответствующих случаях, коэффициент риска $y_n$ применяется к комбинированной нагрузке $F_j$ (см. 6.3.6) для получения расчетной нагрузки, $\gamma_n F_j$. Расчетные воздействия нагрузок, $S_k$, определяются из расчетной нагрузки. Напряжения, $\sigma_{1l}$, являющиеся следствием воздействий нагрузок на отдельный элемент или деталь, вычисляются и объединяются с любыми напряжениями, $\sigma_{2i}$ являющимися следствием локальных воздействий,

которые рассчитываются с помощью соответствующих коэффициентов нагрузок.

Итоговое расчетное напряжение $\sigma_l$ необходимо сравнить с соответствующим предельным значением, $\lim \sigma$.

Схема, иллюстрирующая метод предельных состояний, показана на Рисунке А.2.




$f_i$ - нагрузка $i$, воздействующая на элемент или деталь;

$F_j$ - комбинированная нагрузка $j$ от нагрузок $f_{(i)}$, умноженная на коэффициенты частичной нагрузки и коэффициент риска, при необходимости;

$S_k$ - воздействие нагрузок в секции $к$ элементов или несущих частей, такие как внутренние силы и движения, являющиеся результатом объединения нагрузок $F_j$;

$\sigma_l$ - напряжения в отдельном элементе $l$, являющиеся результатом воздействий нагрузок $S_k$;

$\sigma_{2l}$ - напряжения в отдельном элементе $l$, являющиеся результатом локальных воздействий;

$\sigma_l$ - итоговое расчетное напряжение в отдельном элементе $l$;

$R$ - определенная сила или характеристическое сопротивление материала, отдельного элемента или соединения, такое как напряжение, относящееся к динамическому сопротивлению сдвигу, пределу упругой устойчивости или усталостной прочности (предельные состояния);

$lim\ \sigma$ - предельное расчетное напряжение;

$y_p$ - коэффициент частичной нагрузки, применяемый к отдельным нагрузкам в соответствии с рассматриваемой комбинированной нагрузкой;

$y_n$ - коэффициент риска, в соответствующих случаях;

$y_m$ - коэффициент сопротивления.

**Рисунок А.2 — Типичная схема метода предельных состояний**

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Вместо сравнения напряжений, как было указано выше, можно провести сравнение сил, моментов, отклонений и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Общее описание предельного состояния, метода расчета приведено в ISO 2394:1986 General principles on reliability for structures (Конструкции строительные. Общие принципы проверки надежности).

## Приложение В
*(обязательное)*

### Значения коэффициентов $y_f$, $y_m$ и $y_p$

В Таблице В.1 приведены значения $y_f$, $y_m$ и $y_p$, используемые в расчетах, производимых для подтверждения несущей способности, для комбинации нагрузок А, В и С

**Таблица В.1 — Значения коэффициентов[1)] $y_f$, $y_m$ и $y_p$**

| Комбинированные нагрузки | Метод допускаемых напряжений | Метод предельных состояний | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Коэффициент $y_f$ | Коэффициент сопротивления $\gamma_m$ | Коэффициент частичной нагрузки $y_p$ | | | | | | | | | |
| A | 1,48 | 1,1 | 1,16 | 1,22 | 1,28 | 1,34[2)] | 1,41 | 1,48 | 1,55 | 1,63 | 1,71 | 1,8 |
| B | 1,34 | 1,05 | 1,1 | 1,16 | 1,22 | 1,28[2)] | 1,34 | 1,41 | 1,48 | 1,55 | 1,63 | 1,71 |
| C | 1,22 | 1 | 1,05 | 1,1 | 1,16 | 1,22[2)] | 1,28 | 1,34 | 1,41 | 1,48 | 1,55 | 1,63 |

[1)] Коэффициенты рассчитываются по формуле $y = 1{,}05^{\nu}$, где $0 < \nu < 12$.
[2)] Эти значения применяются к массе полезной нагрузки.

Для отдельных видов кранов значение $y_p$ для каждой нагрузки выбирают из значений, содержащихся в Таблице В.1, и установленных в данной части настоящего стандарта в соответствии с типом рассматриваемого крана. Когда одна и та же нагрузка появляется более чем в одной комбинированной нагрузке, необходимо брать значение $y_p$, применяемое к этой нагрузке, из той же колонки.

Значение $y_p$ выбирают в соответствии с точностью, с которой определяется данная нагрузка. В некоторых случаях, когда воздействие от нагрузки направлено на сокращение напряжения, то возможно использование значений $y_p \leq 1$. Такие случаи указаны в других частях настоящего стандарта для определенных типов кранов.

При проверке усталостной прочности, вместо коэффициентов $y$, следует использовать показатели прочности, так как это дает более точные результаты проверки.

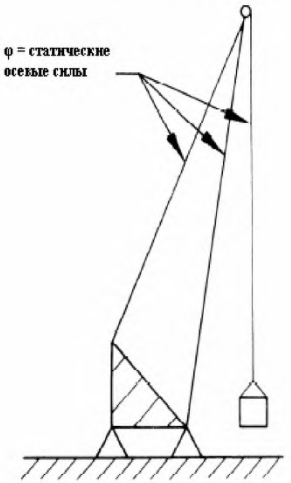
## Приложение С
*(информационное)*

## Общие комментарии по применению коэффициентов $\phi$.

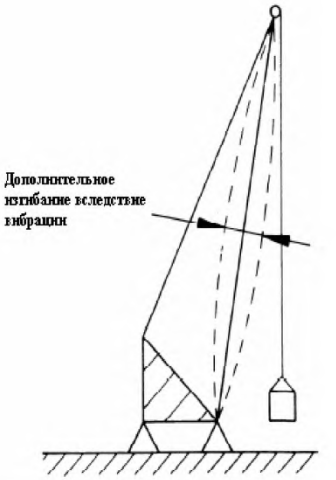
### С.1 Динамические воздействия

Динамические характеристики, вызванные различными нагрузками (см. Раздел 6), принимаются в расчет с помощью динамических коэффициентов $\phi$, на которые умножаются гравитационные силы, обусловленные массами и силами инерции вследствие движений твердого тела (см. Рисунок С.1).

В случаях, когда воздействие нагрузки и динамическая характеристика не покрываются этими коэффициентами, необходимо провести упруго-кинетические анализы или испытания, кроме случаев, когда на основании эксплуатационного опыта известно, что эти воздействия достаточно малы и могут быть проигнорированы.




a) Пример воздействий нагрузок с использованием динамических коэффициентов $\phi$




b) Пример воздействий нагрузок без использования динамических коэффициентов $\phi$

**Рисунок С.1 — Применение динамических коэффициентов $\phi$**

## Приложение D
*(информационное)*

## Пример модели для оценки значения $\phi_4$ для рельсового грузоподъемного крана
(см. 6.1.3.2)

### D.1 Общие положения

Динамические нагрузки, вызванные передвижением или перемещением по рельсам с зазорами или ступенями, можно оценить с помощью использования соответствующих упруго-кинетических моделей. Для учета ступеней и зазоров рельсов можно использовать функции неровности.

### D.2 Упруго-кинетическая модель

В данном примере динамические нагрузки на кран, вызванные нагружающим усилием системы, оцениваются с помощью простой модели.

Единичная масса $m$, в килограммах, двигающаяся горизонтально с постоянной скоростью $v$, в метрах в секунду, опирается на линейно упругую пружину с жесткостью $c$, в ньютонах на метр, и направляется с помощью рельса (см. Рисунок D.1).

С функцией неровности $h(t)$, в метрах, и координатой $z(t)$, в метрах, описывающей положение подпружиненной массы, динамическая сила в пружине подчиняется выражению $F(t) = c[h(t) - z(t)]$, Н.

Максимальная сила $F_{макс}$ выражается максимальным значением выражения $F(t)$ во время периода реакции. Это может произойти во время или после периода нагружающего усилия.

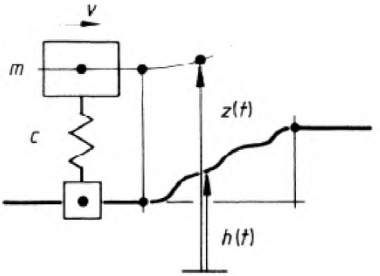
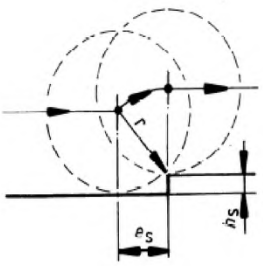


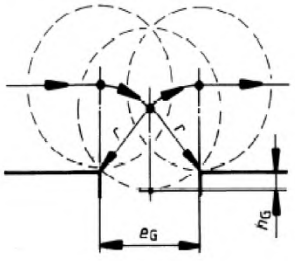

**Рисунок D.1 — Модель для определения динамического коэффициента $\phi_4$**

**D.2.1 Движение колесного центра при прохождении через зазор или ступень**

Движение колесного центра при прохождении через зазор или ступень и соответствующие формулы показаны на Рисунке D.2.




$e_S \approx \sqrt{2rh_S}$ $(h_S \ll r)$



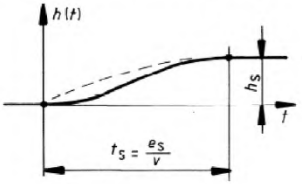

$h_G \approx \frac{e_G^2}{8r}$ $(e_G = r)$

a) Прохождение через ступень b) Прохождение через зазор

**Рисунок D.2 — Движение колесного центра**

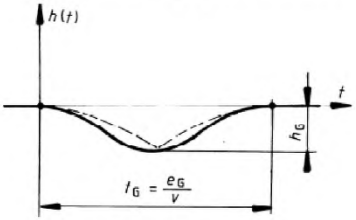
**D.2.2 Функции приблизительной неровности для упруго-кинетической модели**

Функции приблизительной неровности *h(t)* для упруго-кинетической модели показаны на Рисунке D.3 и в соответствующих формулах в D.2.3.




$h_{(t)} = \frac{h_S}{2}(1 - \cos \Omega t)$

Где $\Omega t_S = \pi$




$h_{(t)} = \frac{h_G}{2}(1 - \cos \Omega t)$

Где $\Omega t_G = 2\pi$

a) Прохождение через ступень b) Прохождение через зазор

**Рисунок D.3 — Функции неровности h(t)**

### D.2.3 Максимальные вертикальные ускорения

#### D.2.3.1 Нижний конец пружины

Максимальное вертикальное ускорение нижнего конца пружины, $\ddot{h}$, при прохождении через ступень или зазор с постоянной скоростью $v$, вычисляется по формуле (8):

$$\ddot{h} = \frac{h_S}{2}\Omega^2 = \frac{h_G}{2}\Omega^2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{v^2}{r}, \qquad (8)$$

где $h_s, h_G, \Omega, v$ и $r$ показаны на Рисунках D.2 и D.3.

#### D.2.3.2 Масса, проходящая ступень

Максимальное вертикальное ускорение $\ddot{z}$ для массы $m$, проходящей через ступень вычисляется по формуле (9):

$$\ddot{z} = \ddot{h}\xi_S(\alpha_S), \qquad (9)$$

где

$$\alpha_S = \frac{\omega h}{\pi v}\sqrt{\frac{2r}{h_S}},$$

в котором $\omega = \sqrt{c/m}$ - собственная круговая частота упруго-кинетической модели.

#### D.2.3.3 Масса, проходящая через зазор

Максимальное вертикальное ускорение $\ddot{z}$ для массы $m$, проходящей через зазор вычисляется по формуле (10):

$$\ddot{z} = \ddot{h}\xi_G(\alpha_G), \qquad (10)$$

где

$$\alpha_G = \frac{\omega^e{}_G}{2\pi v}$$

### D.2.4 Коэффициенты $\xi_S$ и $\xi_G$

На Рисунке D.4 сравниваются кривые для коэффициентов $\xi_S(\alpha_s)$ и $\xi_G(\alpha_G)$ для параболической (par) функции неровности с соответствующими кривыми для косинусной (cos) функции неровности, введенной заранее. Числа в скобках (1) или (2) указывают периоды, для которых действительны коэффициенты ξ. Период (1) включает время $t_S$ и $t_G$, а период (2) это время реакции после этого.

Для двух видов нагружающего усилия (ступени или зазора) максимальные значения $\xi_S$ или $\xi_G$ для $a \approx < 1{,}3$ проявляются в период (2), т.е.

после времени прохождения неровности колесом, и с косинусной функцией неровности cos(2).

В этом случае значения коэффициентов можно определить аналитически по формулам (11), (12):

$$\xi_S = \frac{\alpha_S^2}{1-\alpha_S^2}\sqrt{2+2\cos(\pi\alpha_S)}\ , \tag{11}$$

или

$$\xi_G = \frac{\alpha_G^2}{1-\alpha_G^2}\sqrt{2-2\cos(\pi\alpha_G)}\ , \tag{12}$$

**D.2.5 Динамический коэффициент, $\phi_4$**

$\phi_4$ вычисляется по формуле (13):

$$\phi_4 = \frac{mg + m\frac{\xi}{h}}{mg} = 1 + \frac{\xi}{g}\xi\ , \tag{13}$$

Для этих двух случаев и сделанных допущений, включая $a \leq 1{,}3$, коэффициенты $\phi_4$ можно рассчитать следующим образом для $\xi_s, \alpha_s, u\xi_G, \alpha_G$ по формулам (14), (15):

для ступени:

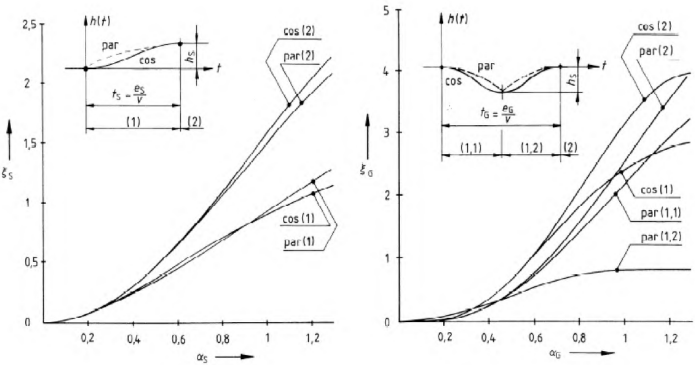
$$\phi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{v^2}{gr}\xi_s(\alpha_s)\ , \tag{14}$$

для зазора:

$$\phi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{v^2}{gr}\xi_G(\alpha_G)\ , \tag{15}$$

**D.2.6 Комментарии**

Использование этой простой упруго-кинетической модели ограничено для кранов, фактические динамические характеристики которых соответствуют такой модели и которые возбуждаются за счет прохождения через ступени или зазоры рельсов. Если более одного собственного вида колебаний вызывает существенную реакцию или появляется периодическое повторение, проектировщику необходимо оценить динамические нагрузки с помощью соответствующей модели для данных обстоятельств.




a) Для ступени b) Для зазора

**Рисунок D.4 — Кривые функции неровности**

## Приложение Е
*(информационное)*

## Пример определения нагрузок, вызванных ускорением

### Е.1 Кинетический анализ твердых тел

В настоящем примере рассматривается жесткое грузоподъемное устройство (т.е. мостовой кран), состоящее из моста двухбалочного мостового крана, опертого на четыре колеса и передвигающегося с постоянной скоростью. Одно колесо на каждой стороне приводится в движение с помощью упрощенного автономного привода. Перемещающаяся грузовая тележка опирается на мост крана (см. Рисунок Е.1).

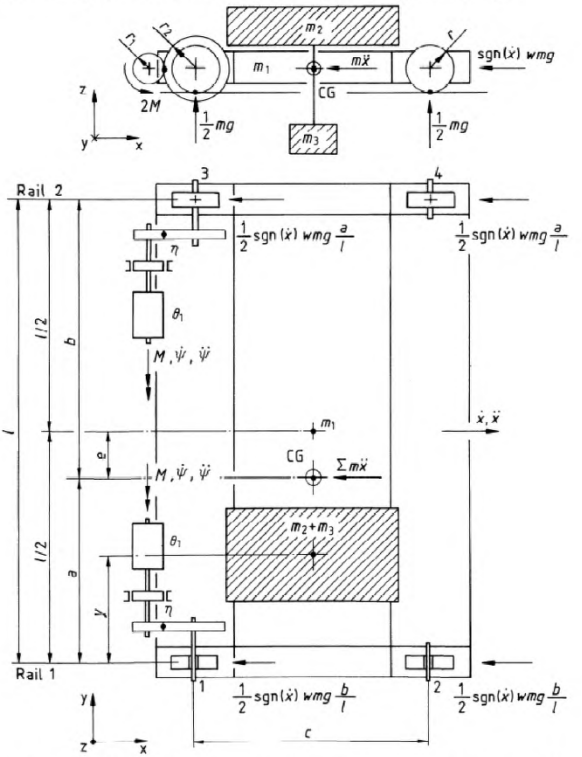



**Рисунок Е.1 — Нагрузки, воздействующие на мостовой кран**

Движущие силы, развиваемые двигателями и тормозами, передаются через одноступенчатые приводы ведущим колесам крана. Ведущие колеса располагаются в концевых ходовых тележках, в которых они с одного бока фиксируются, а с другого остаются подвижными.

### Е.2 Символы

Символы, используемые в настоящем Приложении Е, приведены в Таблице Е.1.

**Таблица Е .1 — Символы, используемые в Приложении Е**

| Символ | Описание |
|---|---|
| **Геометрические параметры (в метрах)** | |
| $l$ | Расстояние между осями рельсовых крановых путей мостового крана |
| $y$ | Расстояние центра масс грузовой тележки от рельса |
| $a$ | Расстояние центра силы тяжести (CG) от рельса 1 |
| $b$ | Расстояние центра силы тяжести (CG) от рельса 2 |
| $c$ | Колесная база |
| $r_1$ | Радиус зубчатого колеса 1 |
| $r_2$ | Радиус зубчатого колеса 2 |
| $r$ | Радиус ведущих колес крана |
| **Массы (в килограммах)** | |
| $m_1$ | Масса мостового крана с ходовыми приводами |
| $m_2$ | Масса тележки мостового крана |
| $m_3$ | Полная нагрузка |
| $m$ | Масса нагруженного грузоподъемного крана $(m = m_1 + m_2 + m_3)$ |
| **Момент инерции (в килограммах на метр квадратный)** | |
| $\theta_1$ | Момент инерции двигателя, соединений, тормозного барабана и зубчатого колеса 1 |
| $\theta_2$ | Момент инерции зубчатого колеса 2 и ведущих колес крана (пренебрегаемый в данном примере) |
| **Внутренние потери на трение** | |
| $\eta$ | Соотношение выходной мощности передачи к входной мощности передачи |

**Таблица Е.1** *(продолжение)*

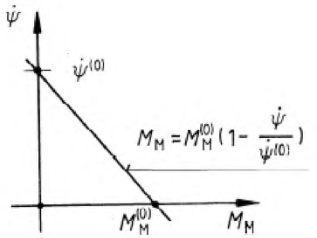
| Символ | Описание |
|---|---|
| $\psi,\dot{\psi}$ | Число оборотов и ускорение, соответственно, двигателя, соединений, тормозного барабана и зубчатого колеса 1 |
| $\chi,\dot{\chi}$ | Скорость передвижения и ускорение, соответственно, грузоподъемного устройства |
| **Скорости и ускорения (в радианах или метрах в секунду или секунду в квадрате)** | |
| **Крутящий момент (в ньютонах на метр)** | |
| $M$ | Крутящий момент на первом валу привода ходового механизма крана |
| $M_M$ | Крутящий момент, обусловленный стационарными характеристиками двигателя |
| $M_B$ | Крутящий момент механических тормозов |

## Е.3 Силы

### Е.3.1 Усилия, развиваемые приводом и внешние силы

Движение крана [x(t)] и воздействия нагрузок зависят от усилий, развиваемых приводом и находящихся в балансе с внутренними силами трения, сил инерции и внешних сил. Внешние силы включают силы трения, возникающие вследствие механического сопротивления (потерь) на колесах, ветровой нагрузки и, в случае горочного пути включают гравитационные силы.

Крутящие моменты $M = M_M$ или $M = M_B$ можно определить с помощью характеристик двигателя или тормозов, что показано на Рисунках Е.2 и Е.3 в двух примерах.

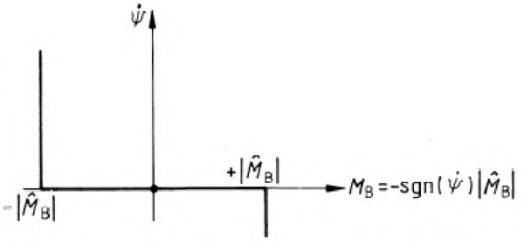



а) $M_M$ - это установившийся выходной крутящий момент двигателя при частоте вращения двигателя $\psi$;

б) $M_M^{(0)}$ - пусковой двигательный момент ($\psi = 0$);

в) $\Psi^{(o)}$ - синхронное число оборотов двигателя ($M_M = 0$).

**Рисунок Е.2 - Двигатель с контактными кольцами, контролируемый резистором - Упрощенное представление характеристик двигателя**

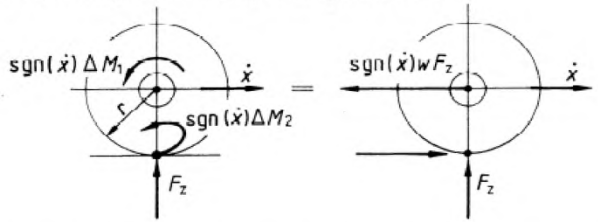



$M_B$ - тормозной момент, имеющий противоположное направление по отношению к $\psi$. Для упрощения, его величина $|M_B|$ принимается как постоянная. Математически она выражается как $M_B = -\mathrm{sgn}(\Psi)|M_B|$

**Рисунок Е.3 - Механический тормоз - Формальное представление тормозного момента**

**Е.3.2 Потери на трение колес**

На Рисунке Е.4 изображены потери на трение колес.




$\Delta M_1$ - это потеря крутящего момента вследствие трения подшипников колес; $\Delta M_2$ - это крутящий момент, представляющий потери вследствие трения качения в поле зацепления колеса; $F_z$ - колесная нагрузка; $w$ - эквивалентный коэффициент трения ($\Delta M_1 + \Delta M_2 = wF_z r$)

**Рисунок Е.4 — Потери на трение колес**

### Е.4 Повышенная передача

Модель привода, показанная на Рисунке Е.5, используется для оценки ускорения на передаче. Эта демонстрация объединяет два привода, действующие для балансировки сил и включает все значительные воздействия.

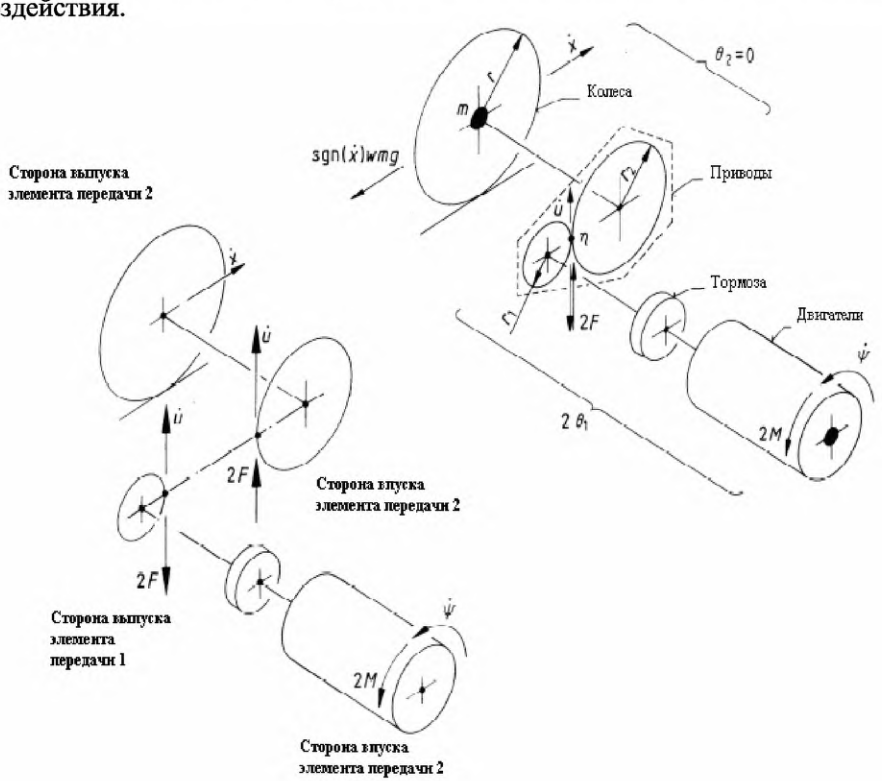



**Рисунок Е.5 — Модель привода крана (правило знаков)**

На основании кинетического анализа твердых тел, не принимая во внимание моменты инерции, $\theta_2$, ускорение, $X$, крана без воздействия сил ветра может быть вычислено по формуле (16):

$$x = \frac{2Mr_1^{-1}r^2r^{-1}\eta^{\lambda} - \mathrm{sgn}(x)wmg}{2\theta_1(r_1^{-1}r_2r^{-1})^2\eta + m}, \qquad (16)$$

где $\lambda = \text{sgn}(uF)$;

$u$ - тангенциальная скорость зубчатых колес;

$F$ - тангенциальная сила, переносимая зубчатыми колесами.

ПРИМЕЧАНИЕ Правило знаков скорости и внутренних сил.

Предполагается, что внутренние силы элемента передачи являются положительными при действии на стороне впуска в направлении положительной скорости и на стороне выпуска противоположно направлению положительной скорости. Скорости элементов передачи следует выбирать как положительные, если они действуют в положительном направлении движений грузоподъемного устройства, принимая во внимание кинематические взаимодействия механических частей.

### Е.5 Нагрузки и воздействия нагрузок

Нагрузки и воздействия нагрузок, вызванные приводами крана вследствие постоянного использования, необходимо учесть при рассмотрении соответствующих событий, например:

a) Событие I

Придание ускорения крану из состояния покоя $(\Psi = 0)$ с помощью применения пускового момента $M_M^{(0)}$ каждому ходовому приводу.

b) Событие II

При замедлении крана из режима установившегося движения $(\Psi = x = 0)$ с помощью механического торможения, посредством чего крутящий момент на каждом ходовом приводе изменяется от двигательного момента $M_M(\Psi = 0)$ до тормозного момента $-|M_B|$.

Для целей данного примера настоящего Приложения Е, события I и II принимаются как мгновенные изменения крутящего момента. Эти события показаны на Рисунке Е.6.

### Е.6 Ускорение

Перед тем как появляется возможность рассчитать расчетные воздействия нагрузок, происходящих вследствие изменений в крутящем моменте, например, те, что являются следствием события I и II, указанных в Е.5, необходимо оценить начальное ускорение $x_{(i)}$ и конечное ускорение $x_{(f)}$, завершающее рассматриваемое событие. Их можно вычислить по формулам (17), (18), (19):

a) Для события I при $x_{(i)} = 0$

$$x_{(f)} = \frac{2M_m^{(o)} r_1^{-1} r^2 r^{-1} \eta - wmg}{2\theta_1 (r_1^{-1} r^2 r^{-1})^2 \eta + m}, \qquad (17)$$

затем λ = + 1 (при $\acute{u} > 0$ и $F > 0$).

b) Для события II

$$x_{(i)} \frac{2M_m (\Psi = 0) r_1^{-1} r_2 r^{-1} \eta - wmg}{2\theta_1 (r_1^{-1} r_2 r^{-1})^2 \eta +}, \qquad (18)$$

затем λ = + 1 (при $\acute{u} > 0$ и $F < 0$)

$$x_{(f)} = -\frac{2|M_b| r_1^{-1} r_2 r^{-1} \eta^{-1} + wmg}{20_1 (r_1^{-1} r_2 r^{-1})^2 \eta^{-1} + m}, \qquad (19)$$

затем λ = - 1 (при $\acute{u} > 0$ и $F < 0$)

По этим результатам можно увидеть, что если $M_M^{(0)} - |M_B|$, ускорение $x_{(f)}$ для события I меньше, чем торможение $x_{(f)}$ для события II.

### Е.7 Расчетные воздействия нагрузок в механических деталях

В качестве примера, тангенциальная сила, передаваемая передачами и учитываемая при расчетах, *F*,указанных в Е.4, Рисунок Е.5, оценивается по формулам (20), (21), (22), (23):

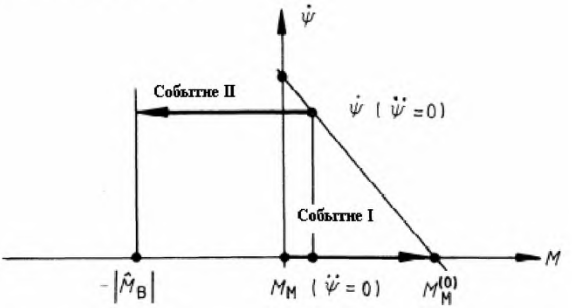



**Рисунок Е.6 — Иллюстрирование событий I и II**

$$F = (M - \theta_1 \Psi) r_1^{-1}, \qquad (20)$$

где $\Psi = r_1^{-1} r_2 r^{-1} x$

$$F = F_{(i)} + \phi_5 \Delta F, \tag{21}$$

где $\Delta F = F_{(f)} - F_{(i)}$

a) Для события I при $F_{(i)} = 0$

$$F_{(f)} = \left[\mathrm{M}_M^{(0)} - \theta_1 r_1^{-1} r_2 r^{-1} x_{(f)}\right] r_1^{-1}, \tag{22}$$

b) Для события II при $F_{(i)} = M_m(\Psi = 0) r_1^{-1}$

$$F_{(f)} = \left[-|M_B| - \theta_1 r_1^{-1} r_2 r^{-1} x_{(f)}\right] r_1^{-1}, \tag{23}$$

### Е.8 Расчетные воздействия нагрузок конструктивных элементов

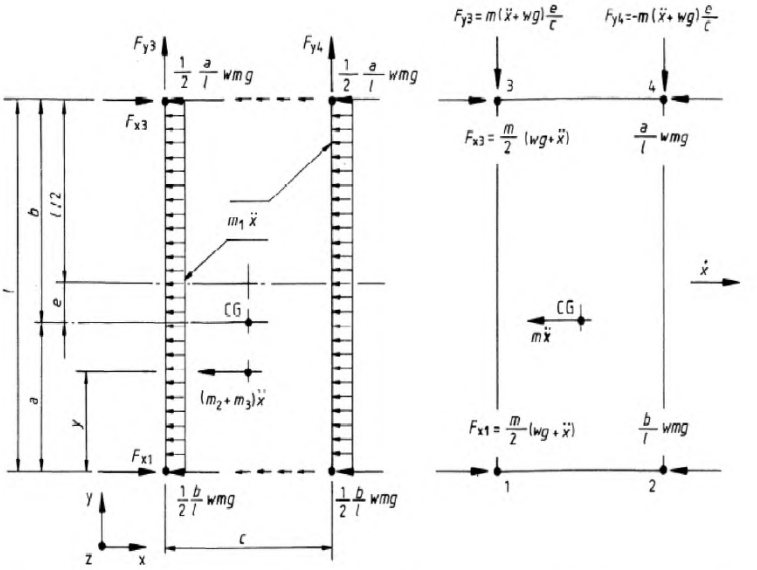
В качестве примера, горизонтальные нагрузки и реакции, передаваемые подкрановой балкой и учитываемые при расчетах, оцениваются следующим образом Рисунок Е.7.

Горизонтальные нагрузки и силы вызываются силами привода, приводящими к ускорению крана, и не включают силы наклонения.

Во время ускорения, два действующих привода уравновешивают силы масс ($mx = m_1 x + m_2 x + m_3 x$) и силы, возникшие вследствие потери на трение на всех колесах *(wmg)*. Предполагается, что характеристики привода крана одинаковые, как и их управление; поэтому силы привода равно распределены на оба привода и вычисляется по формуле (24):

$$(F_{x3} = F_{x1} = \frac{1}{2} mx + \frac{1}{2} wmg), \tag{24}$$

Результирующая сила привода действует в осевой линии расстояния между осями рельсовых крановых путей.




a) Распределение горизонтальных нагрузок вследствие ускорения крана

b) Расчет результирующих нагрузок под действующими силами привода $F_{x3} = F_{x1}$ и силами противодействия $F_{y4} = F_{y3}$

**Рисунок Е.7 — Горизонтальные нагрузки и обратные действия**

Силы располагаются поперечно к подкрановому пути, $F_{y4} = -F_{y3}$, обычно появляется как следствие влияния расстояния $e = y = \frac{l}{2} - a$ между действующими и противодействующими силами, и становится равным $F_{y4} = F_{y3} = m(x + wg)\frac{e}{c}$.

Необходимо оценить расчетные воздействия нагрузок $F$, вызванные ускорениями перед $[X_{(i)}]$ и после $[X_{(f)}]$, изменяющими крутящие моменты для любого рассматриваемого события.

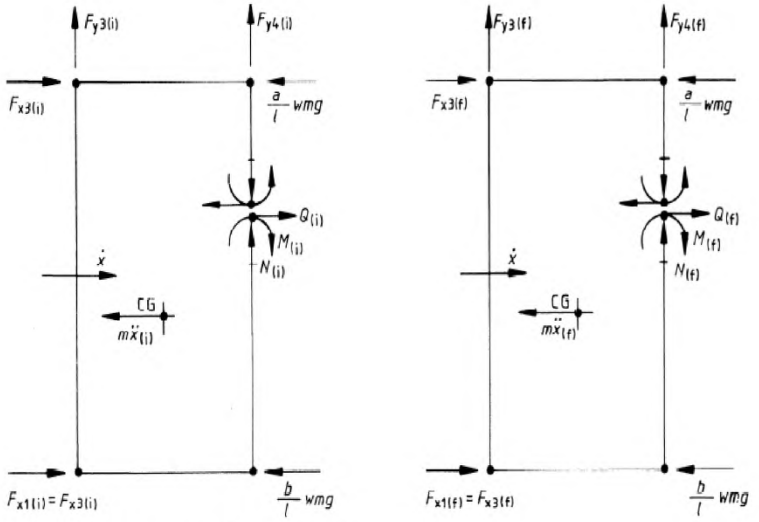
На основании действующих нагрузок, сил масс $mx_{(i)}$ и $mx_{(f)}$, как и результирующие сил трения, необходимо оценить все соответствующие воздействия нагрузок $F_{(i)}[\ N_{(i)}, Q_{(i)}, M_{(i)}\ ]$ и $F_{(f)}[\ N_{(f)}\ Q_{(f)}, M_{(f)}\ ]$ соответственно упруго-статическим вычислением, рассматривая

подкрановую балку как плоскую (или пространственную) раму Рисунок Е.8.

Расчетные воздействия нагрузок можно оценить в соответствии с Е.4 , Е.7, и по формуле (25):

$$F = F_0 + \phi_5 \Delta F, \tag{25}$$

где $\Delta F = F_{(f)} - F_{(i)}$




В особых случаях события I и II:

$$x_{(i)} = 0$$

a) Перед изменением крутящих моментов (i)

b) После изменения крутящих моментов (f)

**Рисунок Е. 8 — Состояние нагружающего усилия**

## Приложение F
*(информационное)*

## Пример метода анализа нагрузок при наклоне

### F.1 Модель крана

Для проведения оценки тангенциальных сил между колесами и рельсами, также как и сил между действующими направляющими механизмами, вызванных наклоном грузоподъемного крана, необходима простая передвижная механическая модель. Предполагается, что грузоподъемное устройство передвигается с постоянной скоростью, без контроля над наклонами.

Эта модель состоит из $n$-пар колес в линии, в которой они $p$ - пары. Отдельная (i) пара колес может определяться либо как сдвоенная ($C$) механически или электрически, либо как установленная независимо ($I$) друг от друга. Последнее условие также имеет силу в случае независимых единичных приводов.

Колеса размещаются в идеальных геометрических позициях в жесткой структуре крана, передвигающейся по жесткому пути. Различия в диаметрах колес для этой модели не учитываются. Они либо зафиксированы ($F$) или находятся в движении ($M$) в отношении бокового движения. Боковая степень подвижности может, например, быть обеспечена с помощью шарнирной стойки.

Различные возможные комбинации поперечно расположенных линейных колесных пар показаны на Рисунке F.1.

На Рисунке F.2, позиции колесных пар относительно позиции направляющих механизмов впереди передвижного крана определяются дистанциями $d_i$.

ПРИМЕЧАНИЕ В случае использования колес с ребордами вместо внешних направляющих механизмов, $d_i = 0$.

Предполагается, что гравитационные силы, обусловленные массами нагруженного крана $(mg)$, действуют на расстоянии $\mu l$ от рельса 1 и равномерно распределяются на $n$ количество колес с каждой стороны подкранового пути.

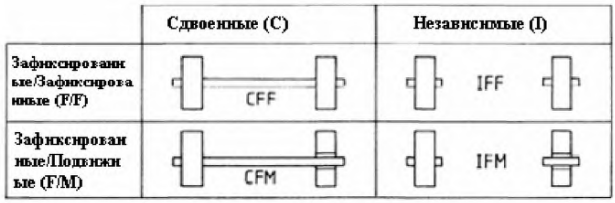



**Рисунок F.1 — Различные комбинации колесных пар**




**Рисунок F.2 — Позиции колесных пар**

## F.2 Соотношение между тангенциальными силами и смещениями

В первую очередь необходимо допустить соотношение между тангенциальными силами и соответствующими смещениями, появляющимися между колесом и рельсом. Так как колесо передает движущие моменты $M_y$ рельсу и его движение ограничивается системой (краном и подкрановым путем), то оно перемещается в продольном и боковом направлениях $u(u_x, u_y)$; соответствующие тангенциальные силы $F_x$, $F_y$ в свою очередь воздействуют на кран (см. Рисунок F.3).

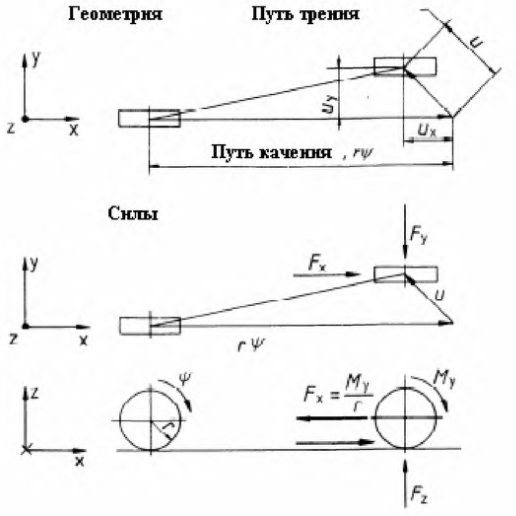



**Рисунок F.3 — Тангенциальные силы и смещения**

Вообще, существует соотношение между путем трения ($u_x$, $u_y$), расстоянием свободного качения $r\psi$, нагрузкой колеса $F_z$ и тангенциальными силами ($F_x$, $F_y$):

$F_x = f_x(s_x, s_y, p_c,$ состояние поверхности$) \cdot F_z$

$F_y = f_y(s_x, s_y, p_c,$ состояние поверхности$) \cdot F_z$

Коэффициенты трения катящегося колеса ($f_x$, $f_y$) зависят от скольжения, т.е. отношение между путем скольжения и путем свободного качения ($s_x = u_x/r\psi$, $s_y = u_x/r\psi$), и от контактного давления между колесом и рельсом ($p_c$) и состояния поверхности рельсов. Для упрощения вычислений, можно использовать следующие эмпирические соотношения:

$f_x = 0.3\,[\ 1 -$ выражение $(-250\, s_x)\ ]$, для $s_x \le 0{,}015$

$f_y = 0.3\,[\ 1 -$ выражение $(-250\, s_y)\ ]$, для $s_y \le 0{,}015$

### F.3 Нагрузки в результате наклонения

Предполагается, что модель крана передвигается при равномерном движении и наклоняется под углом $a$, как показано на Рисунке F.4. Кран может направляться в горизонтальном направлении с помощью внешних направляющих механизмов или с помощью реборд колес.

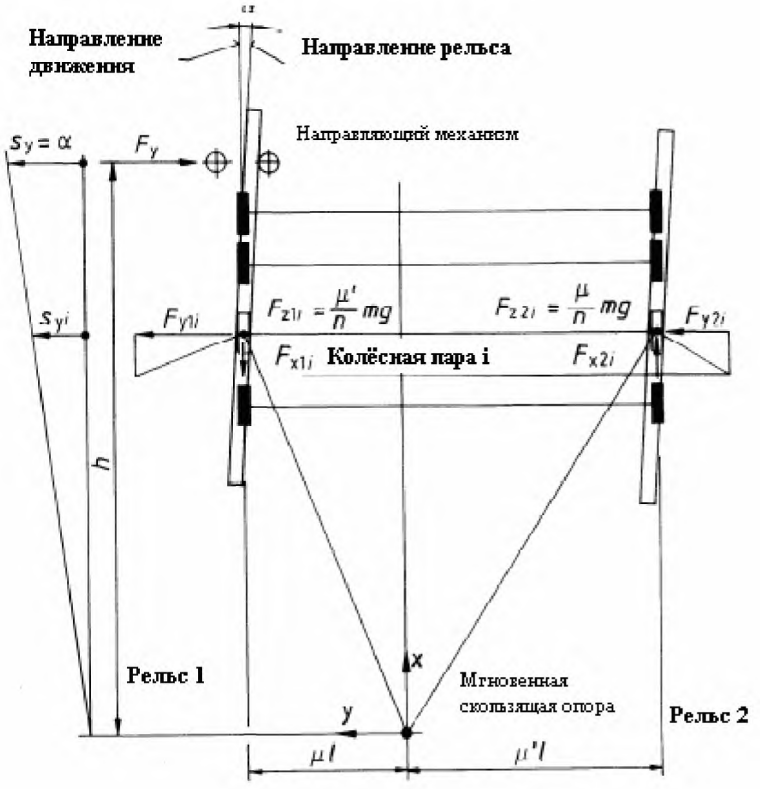



**Рисунок F.4 — Нагрузки, воздействующие на кран в наклонном состоянии**

Направляющая сила $F_y$ находится в равновесии с тангенциальными колесными силами $F_{x1i}$, $F_{y1i}$, $F_{x2i}$, $F_{y1i}$. При максимальном боковом скольжении $s_y = a$ по направляющим механизмам и линейном распределении бокового скольжения $S_{yi}$ между направляющими механизмами и мгновенной скользящей опорой, можно вычислить соответствующие силы наклонения:

а) Расстояние между мгновенно скользящей опорой и направляющими механизмами вычисляется по формулам (26), (27), (28):

для систем

$$F/F,h = (p\mu\mu' l^2 + \Sigma d_i^2)/\Sigma d_i, \qquad (26)$$

для систем

$$F/M,h = (p\mu l^2 + \Sigma d_i^2)/\Sigma d_i, \qquad (27)$$

где

$p$- количество пар сдвоенных колес;

$\mu$ - расстояние мгновенно скользящей опоры от рельса 1;

$\mu'$ - расстояние мгновенно скользящей опоры от рельса 2;

$l$ - расстояние между осями рельсовых крановых путей;

$d_i$ - расстояние колесной пары /от направляющих механизмов.

b) Направляющая сила, $F_y$

$$F_y = vfmg \qquad (28)$$

где

$v = 1 - \Sigma d_i / nh$, для систем F/F,

$= \mu'(1 - \Sigma d_i / nh)$, для систем F/M;

$f$ = 0,3[1 – выражение (-250 *a)*], где $a$ < 0,015 рад;

$mg$ - гравитационная сила, обусловленная массой нагруженного крана.

ПРИМЕЧАНИЕ Угол наклона *a,* который равняется или менее чем 0,015, необходимо выбирать, принимая во внимание расстояние между направляющими механизмами и рельсом, а также допустимый разброс размеров и износ колес крана и рельсов.

### F.4 Тангенциальные силы, $F_x$ и $F_y$

Тангенциальные силы $F_x$ и $F_y$ вычисляются по формулам (29), (30), (31), (32):

$$F_{x1i} = \xi_{1i} fmg, \qquad (29)$$

$$F_{x2i} = \xi_{2i} fmg, \qquad (30)$$

$$F_{y1i} = v_{1i} fmg, \qquad (31)$$

$$F_{y2i} = v_{2i} fmg, \qquad (32)$$

где

$f$ и $mg$ соответствуют перечислению b) E.3;

$\xi_{1i}, \xi_{2i} v_{1i,} u \xi_{2w}$ такие, как дано в Таблице F.1

**Таблица F.1 — Значения** $\xi_{1i}, \xi_{2i} v_{1i,} u \xi_{2ш}$

| Комбинации | $\zeta_{1i} = \zeta_{2i}$ | $v_{1i}$ | $v_{2i} v_{2i}$ |
|---|---|---|---|
| CFF | $\mu\mu^{'}/nh$ | $\frac{\mu^{'}}{n}\left(1-\frac{di}{h}\right)$ | $\frac{\mu}{n}\left(1-\frac{di}{h}\right)$ |
| IFF | 0 | | |
| CFM | $\mu\mu^{'}/nh$ | | |
| IFM | 0 | | 0 |

**Приложение Д.А**
*(информационное)*

**Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным международным стандартам (международным документам)**

**Таблица Д.А - Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочным международным стандартам (международным документам)**

| Обозначение и наименование международного стандарта, международного документа | Степень соответствия | Обозначение и наименование государственного стандарта |
|---|---|---|
| ISO 4306 (все части), Cranes - Vocabulary (Краны грузоподъемные. Словарь) | IDT | ГОСТ 27555-87 Краны грузоподъемные. Термины и определения |

**УДК 621.87: 624.042** **МКС 53.020.20**

**Ключевые слова**: грузоподъёмное оборудование, краны (подъемно-транспортное оборудование), нагрузки (силы).

Басуға _____ж. қол қойылды Пішімі 60х84 1/16
Қағазы офсеттік. Қаріп түрі «KZ Times New Roman»,
«Times New Roman»
Шартты баспа табағы 1,86. Таралымы ____ дана. Тапсырыс ____

---

«Қазақстан стандарттау және сертификаттау институты»
республикалық мемлекеттік кәсіпорны
010000, Астана қаласы Орынбор көшесі, 11 үй,
«Эталон орталығы» ғимараты
Тел.: 8 (7172) 240074

gost.e-ecolog.ru