



УДК 621.771.23

**М.В. Андросенко, Е.В. Куликова**  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
г. Магнитогорск, Российская Федерация  
E-mail: manechka.05@mail.ru  
Дата поступления 30.06.2020  
*В авторской редакции*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ НА РОЛИКИ РОЛЬГАНГА ПРОКАТНОГО СТАНА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ЗАГОТОВКИ

### Аннотация

В работе приведены сведения по определению нагрузки на один ролик рольганга при различных вариантах положения раската широкополосного или толстолистового стана. Приведены схемы рольгангов с индивидуальным и групповым приводом, а также схемы нагружения рольганга, при различных вариантах эксплуатации.

**Ключевые слова:** рольганг, привод, толстолистовой стан, динамические силы, прокат, ролик.

Разнообразие конструкций рольгангов, обладающих своими преимуществами и недостатками, связано с непосредственными задачами, выполняемыми ими при эксплуатации. При этом каждая конструкция относится к восстанавливаемым изделиям с последовательным соединением элементов.

В зависимости от конструкции рольгангов они состоят из электродвигателя (ЭД), понижающего редуктора (ПР), раздаточного редуктора (РР), рамы (Р), трансмиссионного вала (ТВ), ролика (РО).

Для удобства продвижения документации, при проведении ремонтов рольгангов, необходима их структурная модель, которая, согласно источника [1], имеет вид:

$ЭД + ПР + РР + Р + ТВ + РО,$

и применительно к рольгангам НШС ГП (непрерывных широкополосных станов горячей прокатки) [2] структурные модели имеют вид:

для черновых рольгангов между клетями

$ЭД + ПР + РР + Р + ТВ + РО;$

для промежуточных рольгангов

$ЭД + Р + ТВ + РО;$

для печных рольгангов

$ЭД + ПР + ТВ + Р + РО.$

Рольганги имеют важное значение в механизации вспомогательных операций прокатных станов без которых невозможно обойтись в прокатном цехе. По сравнению с другими машинами непрерывного транспортирования рольганги обладают важными преимуществами, и поэтому они получили такое широкое распространение.

В соответствии с функциями, которые выполняет тот или иной рольганг в прокатном стане, рольганги можно условно разделить на следующие основные типы: рабочие, транспортные, пакетирующие, сбрасывающие, печные, подъемно-качающиеся, подъемно-опускающиеся, поворотные и передвижные, имеющие групповой или индивидуальный привод (рисунок 1).

К преимуществам рольганга можно отнести следующие:

1. Возможность транспортирования высокотемпературного груза большого веса.
2. Реверсивность и независимая регулировка скорости движения проката, находящегося в различных местах рольганга. Заготовку, расположенную в начале рольганга, можно разгонять, находящийся в конце, - притормаживать и собирать его в пакеты.
3. В зависимости от нагрузки и условий работы обеспечение

дифференцированного подхода к выбору конструкций отдельных участков рольганга.

4. Рациональная подборка смежного оборудования
5. Небольшой расход энергии на холостой ход.
6. Удобство смазывания и обслуживать обеспечиваемое неподвижностью узлов трения.

На рисунках 2 – 4 представлены различные варианты схем нагружения роликов рольганга при транспортировании заготовки.

Силы действия слитка на ролик рольганга показаны на рисунках 5 и 6.

Силы действия слитка при его упирании показана на рисунке 7.

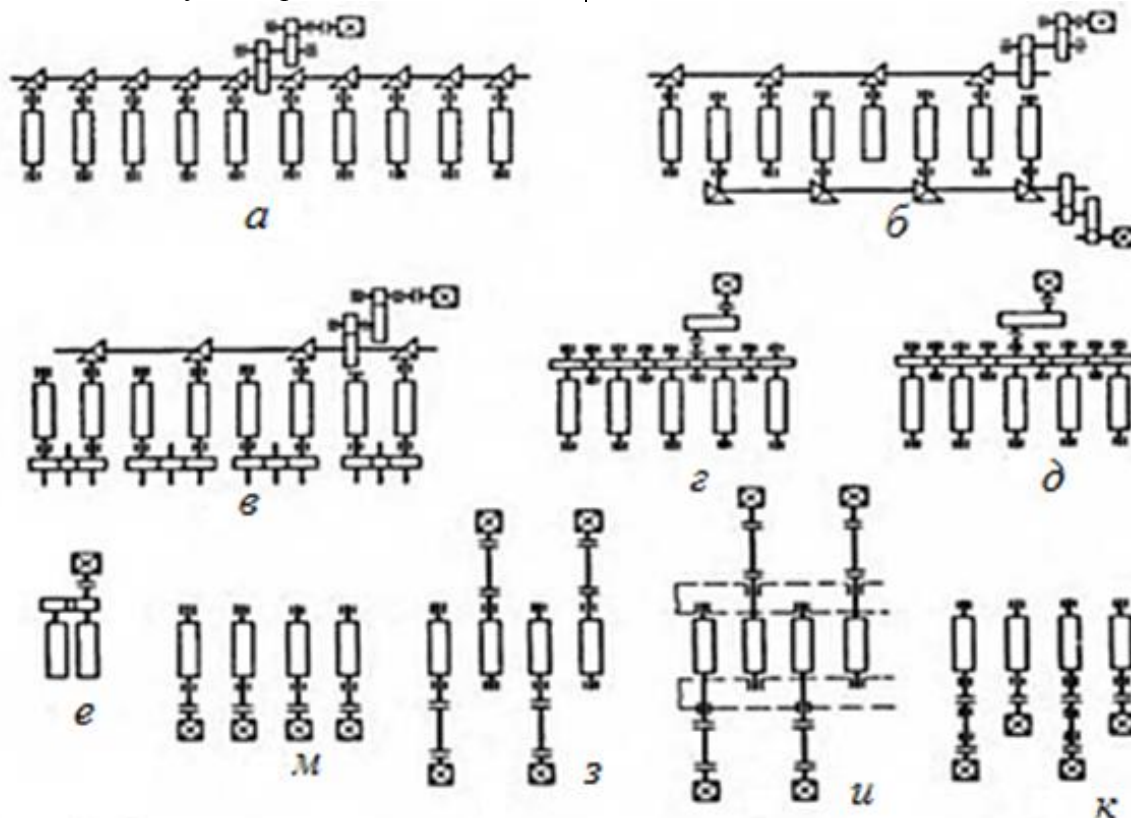


Рисунок 1. Схемы приводов транспортирующих рольгангов [3]

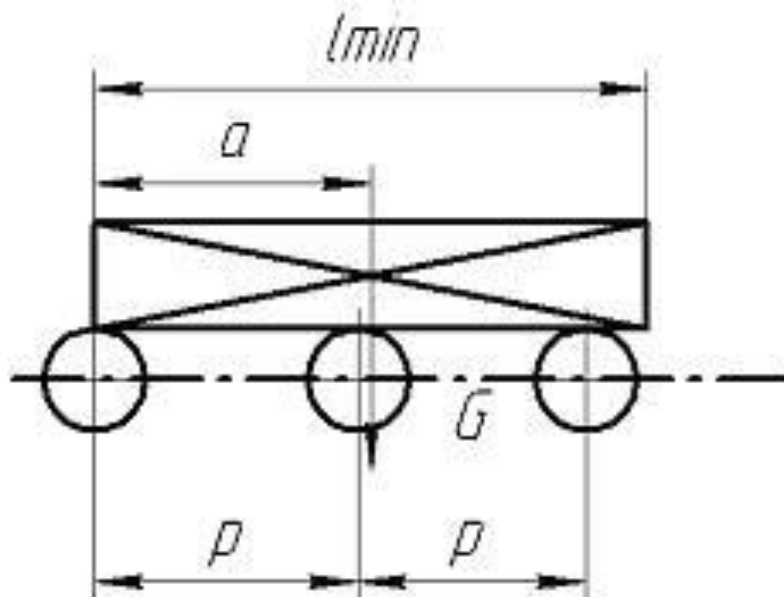


Рисунок 2. Расположение исходного слитка при транспортировании

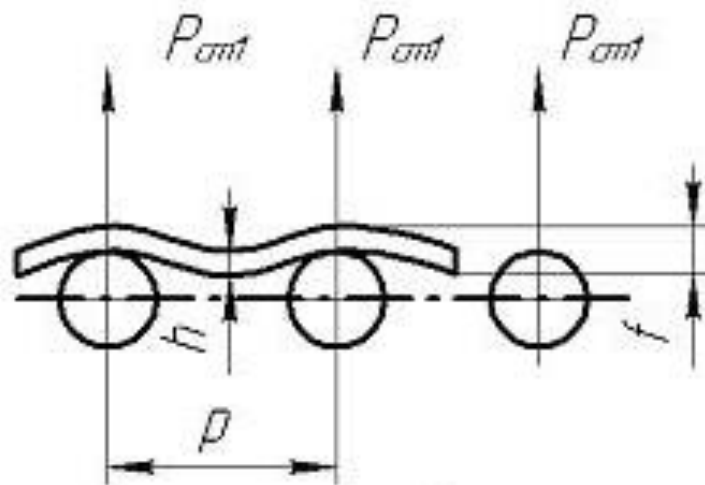


Рисунок 3. Расположение слитка при транспортировании раската

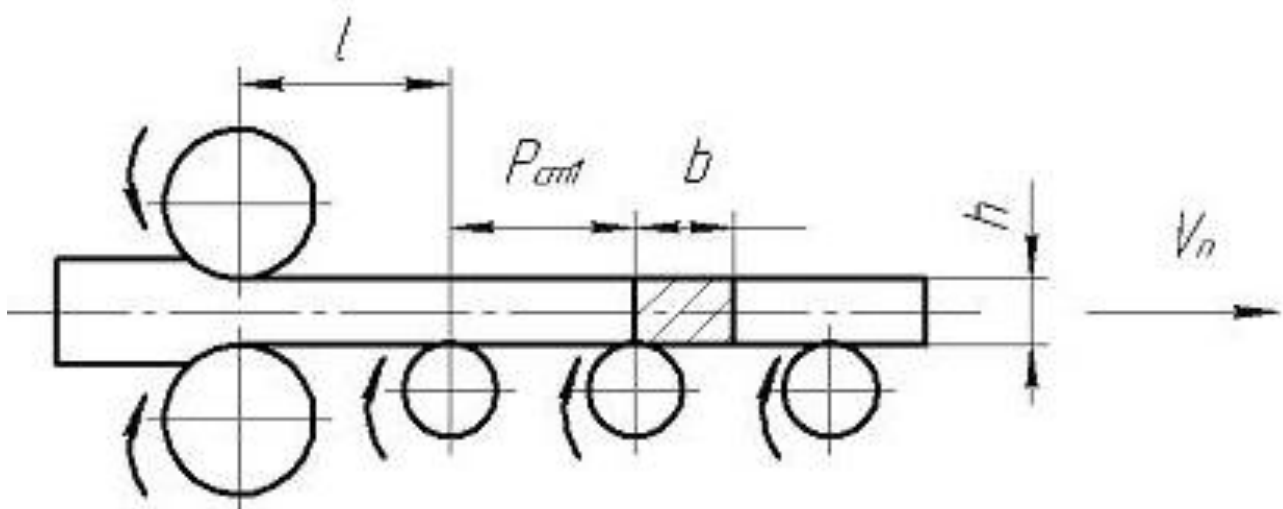


Рисунок 4. Расположение слитка на рольганге выходящего из прокатных валков

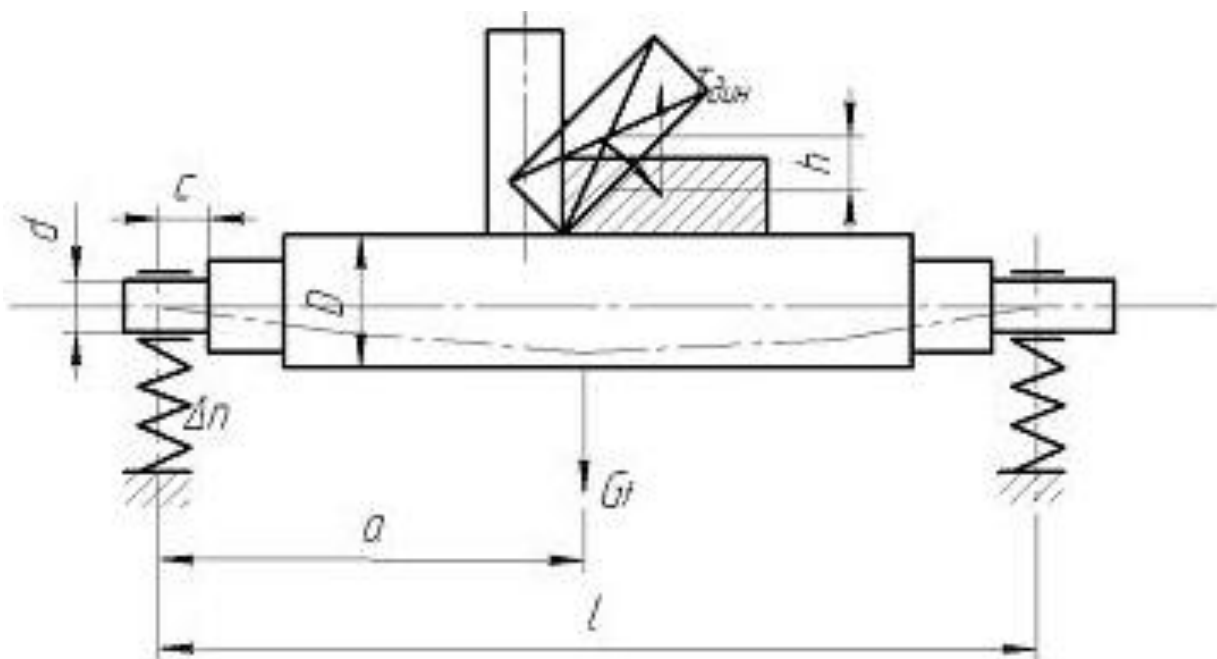


Рисунок 5. Силы действия слитка на ролик рольганга при кантовании заготовки

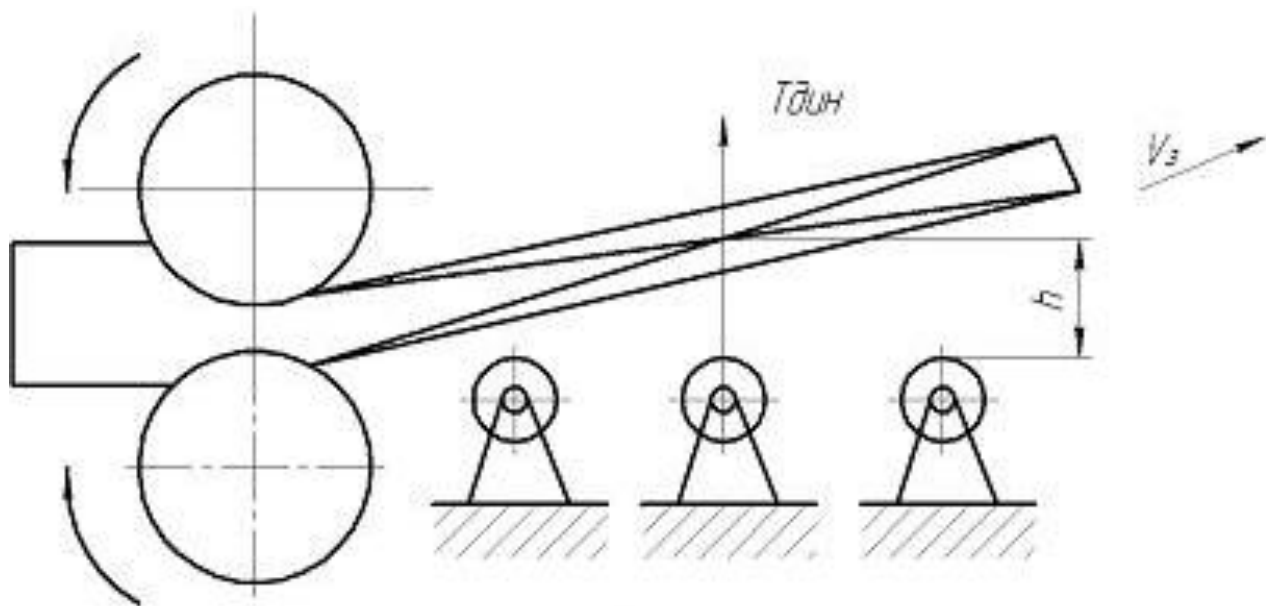


Рисунок 6. Силы действия слитка на ролик рольганга при прокатке с нижним давлением

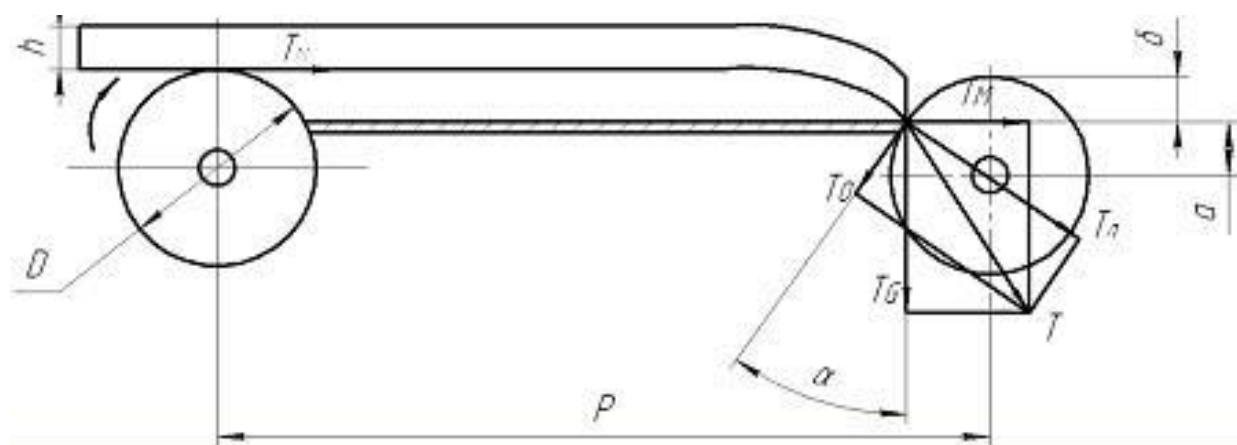


Рисунок 7. Силы действия слитка при упирании проката в ролик [1]

Масса слитка воспринимается тремя роликами [4] при перемещении его, согласно рисунка 2.

Масса слитка, отнесённая к числу роликов (рисунок 3) воспринимается при перемещении заготовки длиной превышающей два шага между роликами.

Ввиду криволинейности заготовки, часть роликов не соприкасается с её поверхностью, поэтому при определении нагрузки на ролик учитывается 70% от общего числа роликов.

При кантовке раската (рисунок 5) ролики испытывают нагрузки, которые воздействует на ролики рольганга при приёме раската из клетки.

Варианты выхода раската из клетки представлены на рисунке 4 и 6 [1].

В настоящее время определение веса металла, приходящегося на один ролик, при

выборе параметров электродвигателей рольгангов широкополосных и толстолистовых прокатных станов производится в соответствии с рекомендациями работ [5,6]. Особенностью такого расчета является то, что расчет массы заготовки, приходящейся на один ролик рольганга, производят путем деления всей массы заготовки на количество роликов рольганга, считая при этом, что заготовка не имеет продольной разнотолщинности.

В практике проектирования электроприводов рольгангов при определении веса металла, приходящегося на один ролик, обычно руководствуются рекомендациями [7], приведенными ниже в таблице.

В связи с этим представляет интерес более точное определение веса металла, приходящегося на один ролик рольганга.

Это позволит минимизировать номинальные характеристики выбранного электродвигателя - мощность, массу и стоимость, при одновременном удовлетворении требований к надежности работы рольганга.

Если известно количество опор, на которые опирается металл, то его средний вес, приходящийся на один ролик, определяется путем деления веса металла на количество опор, уменьшенное на одну. Количество же опор по данным [8] может быть определено на основании условий пластического прогиба.

Рассмотрим раскат, имеющий изогнутый вверх передний конец и опору в точке  $O$ , как показано на рисунке 8.

Определим такую длину переднего конца, при которой под своим собственным

весом произойдет его пластическая деформация, в результате чего передний конец раската приобретет еще одну опору.

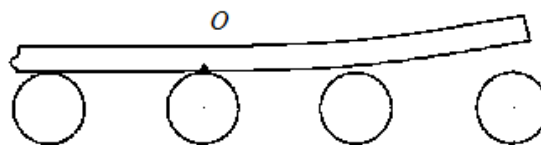


Рисунок 8. К расчету веса металла, приходящегося на один ролик, при транспортировке раската с изогнутым вверх передним концом

Представим конец раската в виде заземленной балки, как показано на рисунке 9.

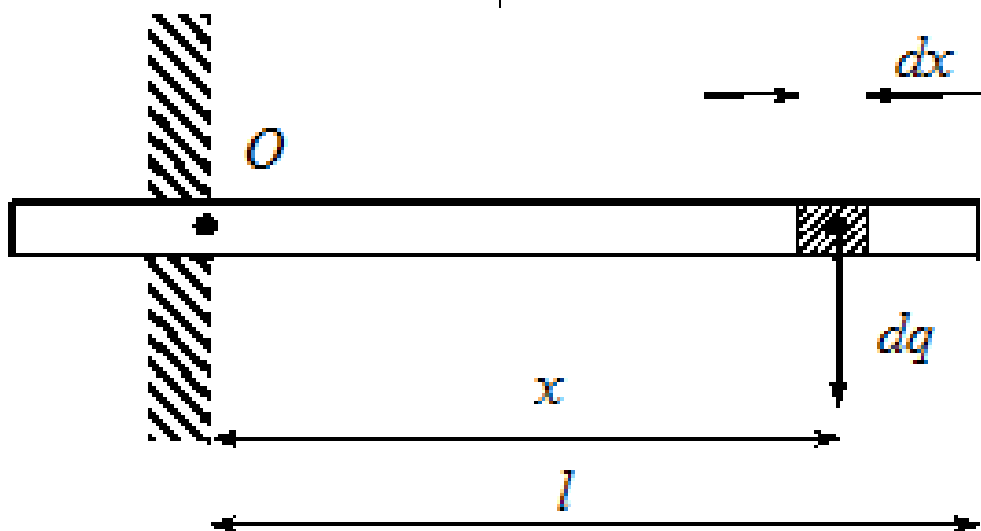


Рисунок 9. Схема раската в виде заземленной балки

Таблица 1  
Расчетные значения доли веса металла, приходящегося на один ролик рольганга, по данным [5]

Характеристика раската	Доля веса $\kappa = G_M / G_{сл}$
1. Раскат длиной менее 3 шагов роликов и сечением более 1000 мм <sup>2</sup>	0,75
2. Полосы с длиной более 3 шагов роликов и сечением более 2000 мм <sup>2</sup>	0,5
3. Полосы с длиной более 4 шагов роликов и сечением более 2000 мм <sup>2</sup>	0,3
4. Мелкий сорт и тонкие полосы длиной более 9 шагов роликов	вес на длине 3 шагов

Не трудно получить момент изгиба от веса раската в точке  $O$ , который равен:

$$M_{\text{изг}} = B \cdot h \cdot \gamma \cdot g \cdot l_2 / 2. \quad (1)$$

где  $B$  - ширина раската;  
 $h$  - толщина раската;  
 $\gamma$  - плотность материала раската,  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Будем считать, что пластическая деформация переднего конца начинается в момент, когда напряжения на поверхностном слое достигнут значения предела текучести  $\sigma_{s0}$ . Эюра напряжений в поперечном сечении раската в точке  $O$  показана на рисунке 10.

Выражение момента пластического изгиба в точке  $O$  для данной эюры напряжений известно и имеет вид:

$$M_{\text{пл.изг.}} = \sigma_{s0} \cdot B \cdot h^2 / 6. \quad (2)$$

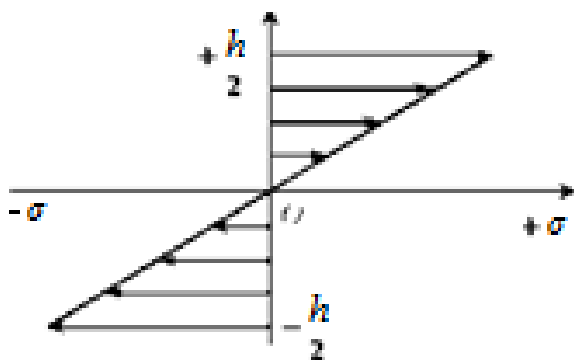


Рисунок 10. Эюра напряжений в поперечном сечении раската в точке  $O$

Приравнивая выражения (1) и (2), получим максимальную длину переднего конца раската, при которой произойдет пластический изгиб, и передний конец приобретет дополнительную опору:

$$l_{\text{макс}} = \sqrt{\sigma_{s0} \cdot h / 3} \cdot \gamma \cdot g. \quad (3)$$

Таким образом, если раскат имеет изогнутый вверх передний конец длиной  $l_{\text{макс}}$ , а остальная часть раската опирается на все, находящиеся под нею ролики, то минимальное число опор будет равно:

$$n_1 = (L_p - l_{\text{макс}}) / l_{\text{ш}} + 2, \quad (l_{\text{макс}} \geq l_{\text{ш}}) \quad (4)$$

где  $l_{\text{ш}}$  - величина шага роликов рольганга

Число опор, вычисленное по выражению (4), учитывает и ту опору, которую приобретет изогнутый передний конец раската после его пластического изгиба.

Вес металла, приходящийся на один ролик, равен:

$$G_m = G_{\text{сл}} / (n_1 - 1) = G_{\text{сл}} \cdot l_{\text{ш}} / ((L_p - l_{\text{макс}} + l_{\text{ш}}), \quad (l_{\text{макс}} \geq l_{\text{ш}}) \quad (5)$$

Если раскат имеет 2 изогнутых конца, то минимальное число опор будет равно:

$$n_2 = (L_p - 2 \cdot l_{\text{макс}}) / l_{\text{ш}} + 3, \quad (l_{\text{макс}} \geq l_{\text{ш}}) \quad (6)$$

Выражение (6) учитывает так же и те две опоры, которые приобретут изогнутые передний и задний концы раската после их пластического изгиба.

В этом случае вес металла, приходящий на один ролик, равен:

$$G_m = G_{\text{сл}} / (n_2 - 1) = G_{\text{сл}} \cdot l_{\text{ш}} / ((L_p - 2 \cdot l_{\text{макс}} + 2 \cdot l_{\text{ш}}), \quad (l_{\text{макс}} \geq l_{\text{ш}}) \quad (7)$$

Выражения (4) - (7) применимы для случая, когда раскат имеет небольшую длину по сравнению с  $l_{\text{макс}}$ , то есть, когда средняя часть раската надежно опирается на ролики и не имеет изогнутых участков. Поэтому формулы (4) - (7) можно рекомендовать при длине раската равной  $L_p = (2 \div 3) l_{\text{макс}}$

На длинных раскатах в их средней части возможны изогнутые участки, что уменьшает количество опор раската на рольганге. На рисунке 11 показан пример раската, имеющего изогнутый участок в средней части и опоры в точках  $O_1$  и  $O_2$ .

Приравнивая момент изгиба от веса раската для данного случая моменту пластического изгиба (2), получим максимальную длину изогнутого участка, когда в результате пластического изгиба раскат приобретает дополнительную опору:

Известно, что максимальными моментами, возникающими на шейках роликов рольгангов прокатных станков, являются моменты буксовки. Преодоление моментов буксовки без отключения электродвигателя или электропривода рольганга в целом, является неременным условием надежной работы рольгангов прокатного стана. Поэтому, момент буксовки является основной величиной, определяющей номинальные параметры электродвигателей рольгангов.

Приблизненно момент буксовки на шейке ролика рольганга равен:

$$M_6 = 1.05 \cdot F_6 \cdot D_p / 2 = 1.05 \cdot G_m \cdot \mu_6 \cdot D_p / 2, \quad (8)$$



где  $F_b$  - сила буксовки на поверхности ролика;

$D_p$  - диаметр бочки ролика рольганга;  
1,05 - коэффициент, учитывающий трение в подшипниках ролика рольганга;

$G_m$  - нагрузка, приходящийся на один ролик рольганга;

$\mu_b$  - коэффициент трения при буксовании ролика рольганга по поверхности транспортируемого металла.

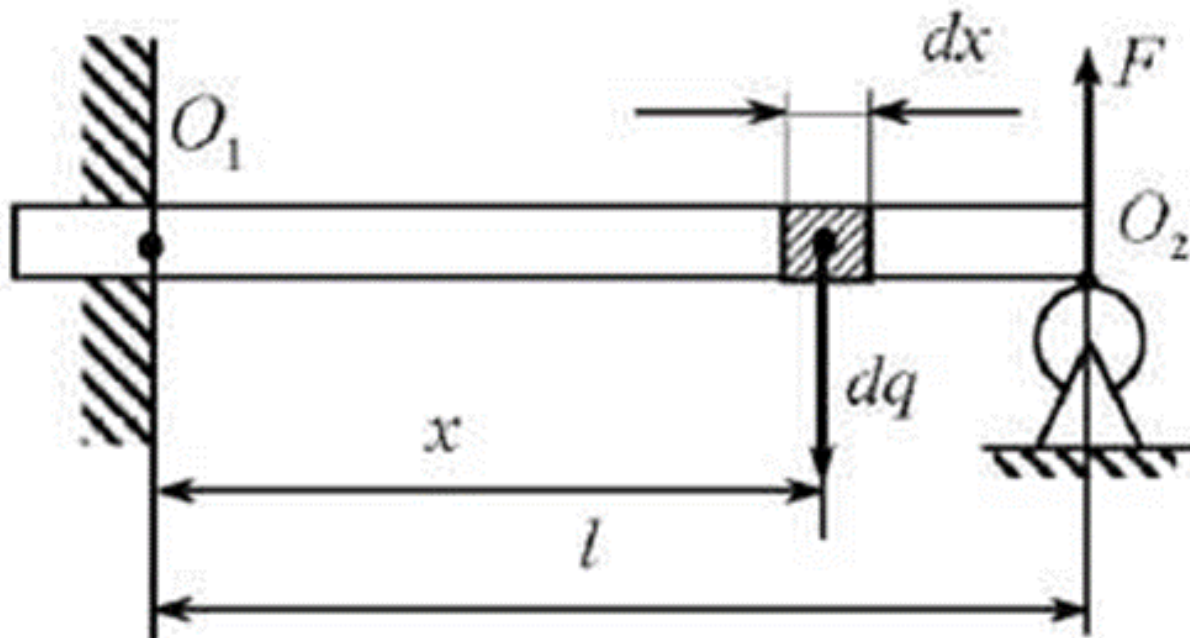


Рисунок 11. К расчету веса металла, приходящегося на один ролик, при транспортировке изогнутого раската в средней части

Из формулы видно, что момент буксовки, а, следовательно, и номинальные параметры электродвигателя рольганга, главным образом зависят от точности определения веса металла  $G_m$ , приходящегося на один ролик рольганга.

$$l_{1\text{макс}} = 2\sqrt{\sigma s \theta \cdot h/3 \cdot \gamma \cdot g}. \quad (9)$$

Максимальное расстояние между опорами, с учетом того, что в результате пластического изгиба между точками  $O_1$  и  $O_2$  появляется еще одна опора, будет равно  $l_{\text{макс}}/2$ . Сравнивая выражения (3) и (9), видно, что  $l_{1\text{макс}} = 2 l_{\text{макс}}$ .

Таким образом, для длинных раскатов, у которых на всей длине имеются изгибы полосы, минимальное число опор будет равно:

$$n_3 = (2 \cdot L_p / l_{1\text{макс}}) + 1 = L_p / l_{\text{макс}} + 1. (l_{\text{макс}} \geq l_{\text{ш}}). \quad (10)$$

Соответственно, вес металла, приходящийся на один ролик, равен:

$$G_m = G_{\text{сл}} \cdot l_{\text{макс}} / L_p, (l_{\text{макс}} \geq l_{\text{ш}}). \quad (11)$$

В общем случае, когда длинный раскат имеет загнутые концы и изгибы в средней части, минимальное число опор и вес

металла, приходящийся на один ролик, также определяются выражениями (10) и (11), соответственно.

Для расчета веса металла, приходящегося на один ролик, удобно пользоваться относительной величиной  $G'_m$ , то есть отношением веса металла, приходящегося на один ролик  $G_m$ , к теоретически минимальному весу металла  $G_{m.\text{мин}}$ , соответствующему весу металла между двумя соседними роликами рольганга.

Теоретически минимальный вес металла равен:

$$G_{m.\text{мин}} = G_{\text{сл}} \cdot l_{\text{ш}} / L_p. \quad (12)$$

Разделив выражения (5), (7) и (11) на выражение (12), после преобразований получим выражения для относительного веса металла, приходящегося на один ролик рольганга:

если  $L_p = (2 \div 3) l_{\text{макс}}$ , раскат имеет один загнутый конец:

$$G'_m = 1 / [1 - (l_{\text{макс}} - l_{\text{ш}}) / L_p]; \quad (13)$$

если  $L_p = (2 \div 3) \cdot l_{\text{макс}}$ , раскат имеет два загнутых конца:

$$G_M' = 1/[1 - (2 \cdot (I_{\max} - I_{ш}) / L_p)]; \quad (14)$$

если  $L_p > 3I_{\max}$ , раскат имеет изгибы по всей длине, а также загнутые концы:

$$G_M' = I_{\max} / I_{ш}. \quad (15)$$

В работе приведены сведения по определению нагрузки на один ролик рольганга при различных вариантах положения раската широкополосного или толстолистового стана. Это позволяет более точно определить моменты буксовки, возникающие при прокатке, и минимизировать номинальные параметры электродвигателей привода роликов рольгангов.

#### Библиографический список

1. Задорожный В.Д. Унифицированный транспортный рольганг повышенной ремонтпригодности с индивидуальным приводом: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Магнитогорск, 2006. - 20 с.
2. Чупров В.Б. Реконструкция металлургических производств. Современное оборудование листопркатных цехов с широкополосными станами горячей прокатки. / Чупров В.Б., Каретный З.П.,

- Третьякова Н.З. - Учебное пособие - Липецк, 2007. - 463 с.
3. Глазов В.С. Машины непрерывного транспортирования для прокатки станов. - М.: «Металлургия», 1979. - 248с.
  4. Розрачунок машин і механізмів прокатних цехів: Ф.К. Иванченко, В.М. Гребеник, В.І. Ширяев.-К.: Вища шк., 1995. - 455с.
  5. Машины и агрегаты металлургических заводов: учебник для вузов. В 3 т. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник [и др.]. - М.: Metallurgia, 1988. - 680 с.
  6. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А. А. Королев. - М.: Metallurgia. - 1985. - 462 с.
  7. Дружинин Н. Н. Электрооборудование прокатных цехов / Н. Н. Дружинин. - М.: Metallurgizdat, 1956. - 456 с.
  8. Соськин М. А. Исследование индивидуального электропривода роликов рольгангов. Книга 80. Прокатные станы /М. А. Соськин //ЦНИИТМАШ. - М.: Машгиз, 1956. - 242 с.

---

#### *Information about the paper in English*

**M.V. Androsenko, E.V. Kulikova**  
 Nosov Magnitogorsk State Technical University  
 Magnitogorsk, Russian Federation  
 E-mail: manechka.05@mail.ru  
 Received 30.06.2020

#### DETERMINING THE LOAD ON ROLLERS OF THE ROLLING TABLE OF THE ROLLING MILL, WHEN TRANSFERRING BILLETS

##### **Abstract**

The paper contains information used to determine the load on one roller of the rolling table for various options of the location of the feed for hot strip or plate mills. It includes the diagrams of rolling tables with an individual drive and a group one, and the rolling table load distribution diagrams in various operation modes.

**Keywords:** rolling table, drive, plate mill, dynamic forces, rolled products, roller.

---