

УДК 621.77.067

Переходченко В. А.  
 Махмудов К. Д.  
 Бобух В. И.  
 Настоящая С. С.

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРИВОДОВ РОЛЬГАНГОВ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

В настоящее время определение веса металла, приходящегося на один ролик, при выборе параметров электродвигателей рольгангов широкополосных и толстолистовых прокатных станов производится в соответствии с рекомендации работ [1, 2]. 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.

Целью работы является уточнение исходных параметров для проектирования рольгангов прокатных станов путем более точного расчета геометрических характеристик заготовки.

Известно, что максимальными моментами, возникающими на шейках роликов рольгангов прокатных станов, 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.

Приближенно момент буксовки на шейке ролика рольганга равен:

$$M_{\bar{o}} = 1,05 \cdot F_{\bar{o}} \cdot \frac{D_p}{2} = 1,05 \cdot G_m \cdot \mu_{\bar{o}} \cdot \frac{D_p}{2}, \quad (1)$$

где  $F_{\bar{o}}$  – сила буксовки на поверхности ролика;  $D_p$  – диаметр ролика; 1,05 – коэффициент, учитывающий трение в подшипниках ролика;  $G_m$  – вес металла, приходящийся на один ролик;  $\mu_{\bar{o}}$  – коэффициент трения при буксовании ролика по металлу.

Из выражения (1) 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.

В практике проектирования электроприводов рольгангов при определении веса металла, приходящегося на один ролик, обычно руководствуются рекомендациями [3], приведенными ниже в табл. 1.

Таблица 1

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

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

Следует отметить, что к полосам, сечением более  $2000 \text{ мм}^2$  и длиной более 4 шагов роликов (п. 3, табл. 1), в настоящее время можно отнести весь раскат черновой группы любого широкополосного стана. Но, применение коэффициента 0,3 для всех раскатов сомнительно. В тоже время, отнести раскат черновой группы, имеющий толщину более 18–20 мм, к тонким полосам длиной более 9 шагов роликов (п. 4, табл. 1), тоже нет оснований.

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 [4] может быть определено на основании условий пластического прогиба.

Рассмотрим раскат, имеющий изогнутый вверх передний конец и опору в точке  $O$ , как показано на рис. 1, а. 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.

Представим конец раската в виде защемленной балки, как показано на рис. 1, б.

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

$$M_{\text{изг.}} = B \cdot h \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{l^2}{2}. \quad (2)$$

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  $\delta_{S_0}$ . Эпюра напряжений в поперечном сечении раската в точке  $O$  показана на рис. 1, в.

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

$$M_{\text{пл.изг.}} = \delta_{S_0} \cdot \frac{B \cdot h^2}{6}. \quad (3)$$

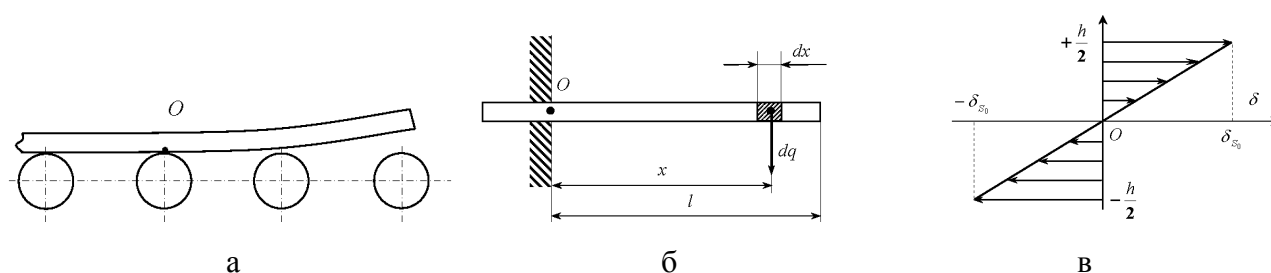


Рис. 1. К расчету веса металла, приходящегося на один ролик, при транспортировке раската с изогнутым вверх передним концом

Приравнявая выражения (2) и (3), получим максимальную длину переднего конца раската, при которой произойдет пластический изгиб, и передний конец приобретет дополнительную опору:

$$l_{\text{макс.}} = \sqrt{\frac{\delta_{S_0} \cdot h}{3 \cdot \gamma \cdot g}}. \quad (4)$$

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

$$n_1 = \frac{L_p - l_{\text{макс.}}}{l_{\text{ш.}}} + 2, \quad (l_{\text{макс.}} \geq l_{\text{ш.}}), \quad (5)$$

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

Число опор, вычисленное по выражению (5), учитывает и ту опору, которую приобретает изогнутый передний конец раската после его пластического изгиба.

Вес металла, приходящийся на один ролик, равен:

$$G_{\text{м.}} = \frac{G_{\text{сл.}}}{n_1 - 1} = G_{\text{сл.}} \cdot \frac{l_{\text{ш.}}}{L_p - l_{\text{макс.}} + l_{\text{ш.}}}, \quad (l_{\text{макс.}} \geq l_{\text{ш.}}). \quad (6)$$

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

$$n_2 = \frac{L_p - 2 \cdot l_{\text{макс.}}}{l_{\text{ш.}}} + 3, \quad (l_{\text{макс.}} \geq l_{\text{ш.}}). \quad (7)$$

Выражение (7) 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:

$$G_{\text{м.}} = \frac{G_{\text{сл.}}}{n_2 - 1} = G_{\text{сл.}} \cdot \frac{l_{\text{ш.}}}{L_p - 2 \cdot l_{\text{макс.}} + 2 \cdot l_{\text{ш.}}}, \quad (l_{\text{макс.}} \geq l_{\text{ш.}}). \quad (8)$$

Выражения (5)–(8) 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 (5)–(8) можно рекомендовать при длине раската равной  $L_p = (2 \div 3) \cdot l_{\text{макс.}}$ .

На длинных раскатах в их средней части возможны изогнутые участки, что уменьшает количество опор раската на рольганге. На рис. 2 показан пример раската, имеющего изогнутый участок в средней части и опоры в точках  $O_1$  и  $O_2$ .

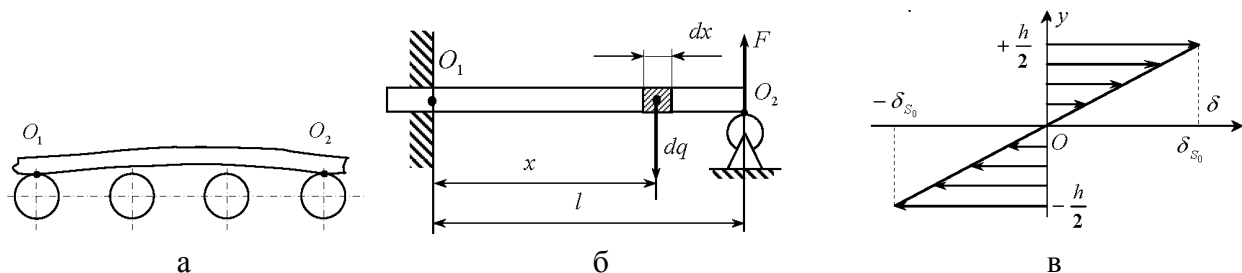


Рис. 2. К расчету веса металла, приходящегося на один ролик, при транспортировке изогнутого раската в средней части

Приравняв момент изгиба от веса раската для данного случая моменту пластического изгиба (3), получим максимальную длину изогнутого участка, когда в результате пластического изгиба раскат приобретает дополнительную опору:

$$l_{\text{макс.}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{d_{S_0} \cdot h}{3 \cdot g \cdot g}}. \quad (9)$$

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  $l_{1\text{макс.}}/2$ . Сравнивая выражения (4) и (9), видно, что  $l_{1\text{макс.}} = 2 \cdot l_{\text{макс.}}$ .

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

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

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

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

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  $\overline{G_{\text{м.}}}$ , то есть отношением веса металла, приходящегося на один ролик  $G_{\text{м.}}$ , к теоретически минимальному весу металла  $G_{\text{м.мин.}}$ , соответствующему весу металла между двумя соседними роликами рольганга.

Теоретически минимальный вес металла равен:

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

Разделив выражения (6), (8) и (11) на выражение (12), после преобразований получим выражения для относительного веса металла, приходящегося на один ролик рольганга:

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

$$\overline{G_{\text{м.}}} = \frac{1}{1 - \frac{l_{\text{макс.}} - l_{\text{ш.}}}{L_p}}; \quad (13)$$

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

$$\overline{G_{\text{м.}}} = \frac{1}{1 - \frac{2 \cdot (l_{\text{макс.}} - l_{\text{ш.}})}{L_p}}; \quad (14)$$

– если  $L_p > 3 \cdot l_{\text{макс.}}$ , раскат имеет изгибы по всей длине, а также загнутые концы:

$$\overline{G_{\text{м.}}} = \frac{l_{\text{макс.}}}{l_{\text{ш.}}} \quad (15)$$

На рис. 3 и 4 построены диаграммы для определения относительного веса металла, приходящегося на один ролик, соответственно, для коротких и для длинных раскатов.

В правой нижней части диаграмм построены кривые, которые позволяют в зависимости от температуры металла получить значение предела текучести  $\delta_{S_0}$ . Кривые 1 и 2 построены на основании [5] для стали 08кп и 10сп, соответственно. Кривые для сталей Ст 2кп, Ст 3кп, Ст 3сп находятся между кривыми 1 и 2. Кривая 3 построена на основании зависимости  $\delta_{S_0} = 87,1 \cdot e^{-0,00294 \cdot T}$ , предложенной ВНИИметмаш, г. Москва, при разработке температурно-

скоростных и энергосиловых параметров прокатки для широкополосного стана 2500. Значение предела текучести  $\delta_{S_0}$  может быть получено по любой другой аналитической зависимости, для этого не обязательно прибегать к использованию правой нижней части диаграмм.

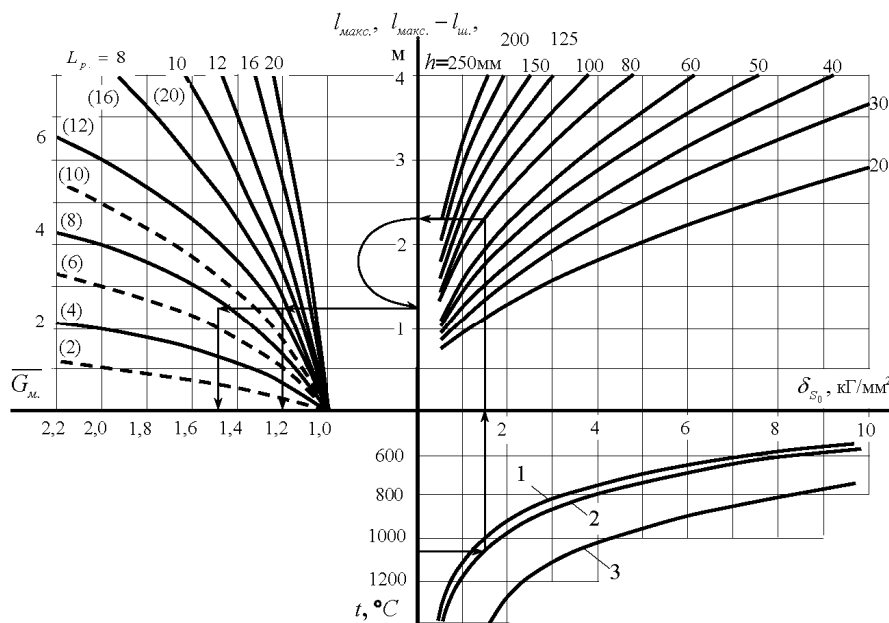


Рис. 3. Диаграмма для определения относительного веса металла, приходящегося на 1 ролик, для коротких раскатов,  $L_p = (2 \div 3) \cdot l_{\max}$ .

Правая верхняя часть диаграмм позволяет, в зависимости от толщины раската, определить  $l_{\max}$  и  $(l_{\max} - l_u)$ . Левая часть диаграмм позволяет определить по выражениям (13)–(15) относительный вес металла  $\overline{G}_m$ .

Особенностью диаграммы, приведенной на рис. 3, является то, что на оси для определения  $l_{\max}$ , также определяется разность  $(l_{\max} - l_u)$ . Затем, в зависимости от длины раската  $L_p$ , определяется относительный вес металла  $\overline{G}_m$ . В левой части диаграммы сплошные кривые предназначены для определения относительного веса  $\overline{G}_m$  раската, имеющего один изогнутый конец, согласно выражению (13), а пунктирные – для раската, имеющего два изогнутых конца, согласно выражению (14), при этом значения  $L_p$  даны в скобках.

На рис. 3 в качестве примера показан порядок нахождения относительного веса для следующих исходных данных: температура раската – 1050 °С; толщина раската – 80 мм; длина раската – 7,5 м; марка стали – 10 сп; шаг роликов – 1200 мм. Относительный вес раската при наличии одного загнутого конца равен  $\overline{G}_m = 1,2$ , а при наличии двух загнутых концов –  $\overline{G}_m = 1,5$ .

На диаграмме, приведенной на рис. 4, относительный вес металла  $\overline{G}_m$  определяется после нахождения  $l_{\max}$  в зависимости от шага роликов  $l_u$ , где показан порядок нахождения относительного веса для длинных раскатов при следующих исходных данных: температура – 900 °С; толщина раската – 24 мм; марка стали – 08сп; шаг роликов – 1100 мм. Относительный вес раската равен  $\overline{G}_m = 1,3$ .

Расчеты с использованием приведенных диаграмм для рабочих и раскатных рольгангов широкополосных и толстолистовых станов, а также для промежуточных и отводящих рольгангов широкополосных станов, показывают, что вес металла, приходящийся на один ролик рольганга, обычно меньше, чем вес металла на трех шагах роликов.

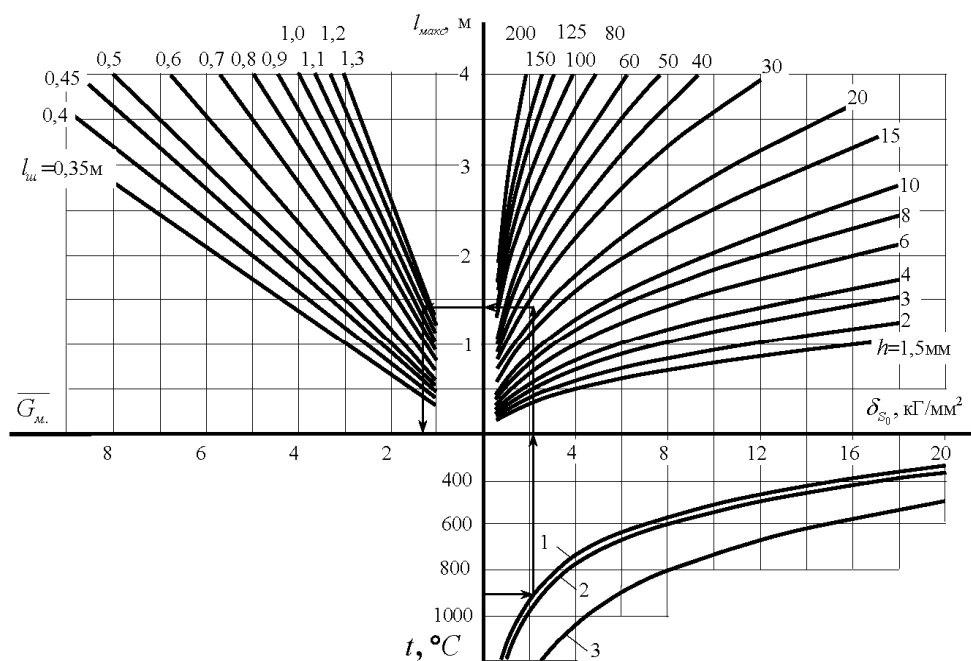


Рис. 4. Диаграмма для определения относительного веса металла, приходящегося на 1 ролик, для длинных раскатов,  $L_p > 3 \cdot l_{\max}$ .

### ВЫВОДЫ

На основании условий пластичности раската получены выражения и построены диаграммы для более точного определения веса металла, приходящегося на один ролик рольганга широкополосного или толстолистового стана. Это позволяет более точно определить моменты буксовки, возникающие при прокатке, и минимизировать номинальные параметры электродвигателей привода роликов рольгангов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. 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. : Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А. А. Королев. – М. : Металлургия. – 1985. – 462 с.
3. Дружинин Н. Н. Электрооборудование прокатных цехов / Н. Н. Дружинин. – М. : Металлургия, 1956. – 456 с.
4. Сонькин М. А. Исследование индивидуального электропривода роликов рольгангов. Книга 80. Прокатные станы / М. А. Сонькин // ЦНИИТМАШ. – М. : Машгиз, 1956. – 242 с.
5. Коновалов Ю. В. Справочник прокатчика / Ю. В. Коновалов, Г. Н. Налча, К. Н. Саврановский. – М. : Металлургия, 1977. – 312 с.

Переходченко В. А. – нач. бюро ЗАО «НКМЗ»;  
 Махмудов К. Д. – канд. техн. наук, доц. филиала ДагГТУ;  
 Бобух В. И. – нач. отдела ЗАО «НКМЗ»;  
 Настоящая С. С. – аспирант ДГМА.

ЗАО «НКМЗ» – ЗАО «Новоκραматорский машиностроительный завод», г. Краматорск;  
 ДагГТУ – Дагестанский государственный технический университет, г. Каспийск, Россия;  
 ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua