

УДК 621.967

Елецких В. И.
Гриценко С. А.

ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАРАБАНЫХ ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ФУНКЦИЕЙ МЕРНОГО РЕЗА

В современных агрегатах поперечной резки холоднокатаных полос и жести преимущественное применение находят барабанные летучие ножницы, кинематика мерного реза в которых осуществляется с помощью числового программного управления их электроприводом.

Применявшиеся ранее летучие барабанные ножницы с механическими устройствами, связывающими режущий и транспортный узлы, не отвечают возросшим требованиям к их производительности, технологии резки, удобству эксплуатации и обслуживания [1, 2].

Замена механических устройств электроприводом с числовым программным управлением позволяет реализовать любые заданные режимы движения исполнительных механизмов, добиться улучшения конструктивных, динамических и технологических параметров ножниц за счёт исключения из цепи привода сложных и громоздких механизмов выравнивания скоростей, пропуска реза, коробок и вариаторов скоростей [3]. В частности, автоматизированный привод позволяет интенсифицировать работу ножниц в переходных режимах, применяемых для получения мерных длин листов, отличающихся от основной – в режиме непрерывного вращения с переменной угловой скоростью и режиме запуска на рез.

Целью работы является вывод оптимальных соотношений параметров режущего механизма (диаметра барабанов, количества установленных на них ножей), с учётом диапазона отрезаемых длин листов и динамических возможностей привода.

Схема установки летучих барабанных ножниц показана на рис. 1. Для мерной резки полосы 1 в установке летучих барабанных ножниц имеется транспортное устройство, состоящее из нижнего 2 и верхнего 3 подающих роликов, связанных с электродвигателем 4. При равномерном вращении этих роликов полоса получает заданную скорость V_n .

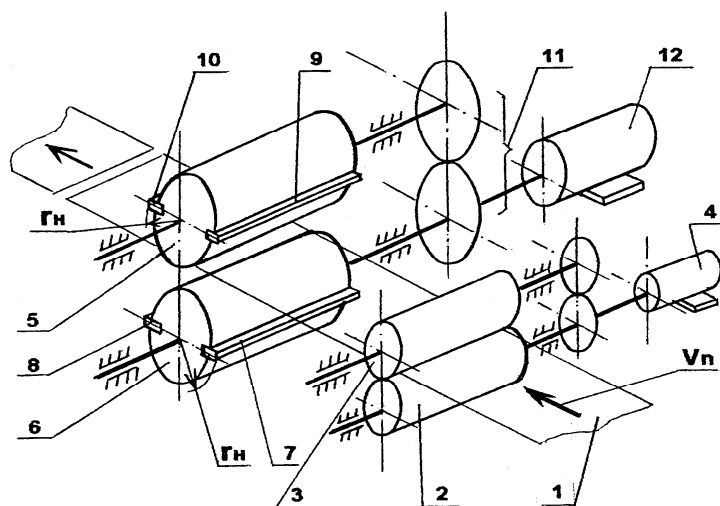


Рис. 1. Схема установки летучих барабанных ножниц

Мерная резка осуществляется режущим устройством, состоящим из верхнего 5 и нижнего 6 барабанов, одинаковых по диаметру, с установленными на них ножами 7, 8, 9, 10. Барабаны связаны между собой зубчатыми колёсами 11 и приводятся во вращение постоянной или переменной угловой скоростью от электродвигателя 12. Электродвигатели 4 и 12 имеют управление от автоматизированной системы, обеспечивающей высокую точность отработки заданных ножницам кинематических параметров. Мерная резка полосы

может осуществляться при установке на барабанах как по два, так и по одному ножу, режущие кромки которых движутся по круговым траекториям с радиусом r_n , одинаковым для верхнего 5 и нижнего 6 барабанов.

Рассмотрим, например, кинематические и динамические условия мерной резки полосы при установке на каждый из барабанов 5 и 6 по одному ножу. При равномерном вращении барабанов со скоростью полосы V_n на ножницах режется длина листов, равная основной, т. е. равная длине круговой траектории ножей $2\pi r_n$:

$$L_{отр} = V_n \times t_{ц} = 2\pi r_n, \quad (1)$$

где $L_{отр}$ – отрезаемая длина листов; V_n – скорость полосы; $t_{ц}$ – время цикла (промежуток времени между двумя последовательными резами); r_n – радиус круговой траектории ножей.

При резке основной длины динамические нагрузки (без учёта усилий резания) на звенья ножниц и электродвигатель отсутствуют и реальные скорости в агрегатах поперечной резки достигают 5–6 м/с (например, при резке длины 2,4 м на ножницах с диаметром барабанов 0,78 м АПР 0,6 – 3 × 1600 меткомбината «Северсталь»).

В режиме резки длины листов больше основной снижают среднюю угловую скорость вращения барабанов ω_p (соответственно, линейную скорость ножей V_n), тем самым увеличивая $t_{ц}$, а условия синхронизации добиваются, меняя скорость ножей в течение цикла между двумя последовательными резами, т. е.:

$$V_n = V_n = \omega_p \times r_n, \quad (2)$$

где ω_p – угловая скорость барабанов при резе;

График скорости ножей при резке длины 3,5 м на примере указанных выше ножниц приведен на рис. 2, а. Учитывая инерционные характеристики механизмов, угловые ускорения барабанов и возникающие динамические нагрузки на звенья ножниц и электродвигателя, скорость движения полосы должна быть снижена до уровня, ограниченного характеристиками электропривода.

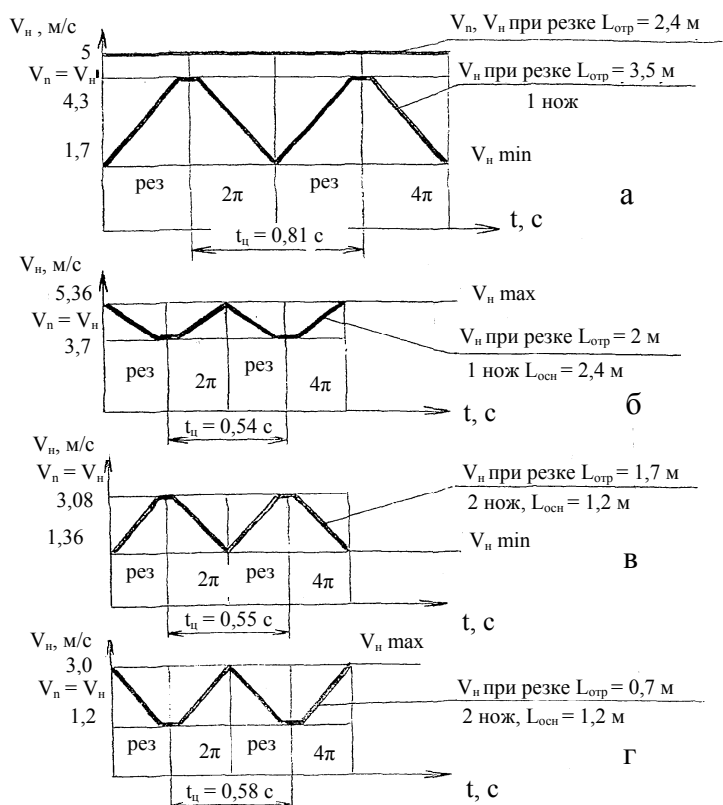


Рис. 2. График скорости ножей при резке заданного диапазона длины листов

С учётом вышесказанного скорость полосы и ножей в процессе реза может быть определена из системы уравнений, составленных при условии разгона – торможения барабанов по линейной зависимости:

$$\begin{aligned} t_{ц} &= \frac{L_{omp}}{V_n}; \\ \omega_{cp} &= \frac{2\pi}{t_{ц}}; \\ \omega_p &= \frac{V_n}{r_n}; \\ \omega_{min} &= 2\omega_{cp} - \omega_p; \\ M_{дин} &= I\varepsilon. \end{aligned} \quad (3)$$

где ω_{min} – минимальная угловая скорость вращения барабанов при их движении с переменной скоростью; $M_{дин}$ – максимальный динамический момент в приводе ножниц; I – момент инерции барабанов и привода; ε – угловое ускорение барабанов; ω_p – угловая скорость ножниц в момент реза.

Тогда, решая систему уравнений 3, получим:

$$V_n = \sqrt{\frac{M_{дин}L_{omp}}{4I\left(\frac{1}{r_n} - \frac{2\pi}{L_{omp}}\right)}}. \quad (4)$$

Например, при $M_{дин} = 28,4$ кНм, моменте инерции барабанов $I = 1767$ кгм², $L_{omp} = 3,5$ м; $r_n = 0,39$ м скорость ножей при резе не должна превышать 4,3 м/с.

В режиме резки длины листов меньше основной увеличивают среднюю угловую скорость вращения барабанов ω_{cp} (соответственно, линейную скорость ножей V_n), тем самым уменьшая $t_{ц}$, а условия синхронизации выполняются также как в предыдущем случае.

График скорости ножей при резке длины 2 м на примере указанных выше ножниц приведен на рис. 2, б. В момент резки скорость ножей снижается, в период между двумя последовательными резами увеличивается.

Определение скорости ножей по вышеприведенной методике даёт следующую формулу:

$$V_n = \sqrt{\frac{M_{дин}L_{omp}}{4I\left(\frac{2\pi}{L_{omp}} - \frac{1}{r_n}\right)}}. \quad (5)$$

Расчёт при выбранных ранее исходных данных и $L_{omp} = 2$ м даёт ограничение скорости ножей до величины 3,7 м/с.

Рассмотрим условия мерной резки при установке на верхнем и нижнем барабанах по два ножа. В этом случае резка полосы на мерные длины происходит при $\frac{1}{2}$ оборота барабанов и основная длина листов в два раза меньше, чем при установке по одному ножу. При этом основные длины листов ($2,4/2 = 1,2$) можно резать при равномерной скорости вращения барабанов и скорость полосы поднять до 5 м/с (более высокая скорость недостижима из условий работы агрегата).

При резке длин больших или меньших основной (1,2 м) режим вращения барабанов и движения ножей принципиально не отличается от описанного режима с одним ножом, однако, необходимо учесть, что в случае двух ножей режим «разгон – торможение» происходит на угле поворота барабана равном π , вместо 2π при одном ноже.

Скорость ножей при резе (длина листов больше основной) определяется по формуле:

$$V_H = \sqrt{\frac{M_{дин} L_{отр}}{4I \left(\frac{1}{r_H} - \frac{\pi}{L_{отр}} \right)}} \quad (6)$$

При длинах листов меньших основной:

$$V_H = \sqrt{\frac{M_{дин} L_{отр}}{4I \left(\frac{\pi}{L_{отр}} - \frac{1}{r_H} \right)}} \quad (7)$$

По формулам (4–7) построены графики изменения скорости ножей при резе в зависимости от длины отрезаемых листов в пределах заданного диапазона длин и при установке одного или двух ножей на барабане. Заштрихованная область графика показывает возможность увеличения скорости ножей и полосы при варьировании числом ножей на каждом барабане.

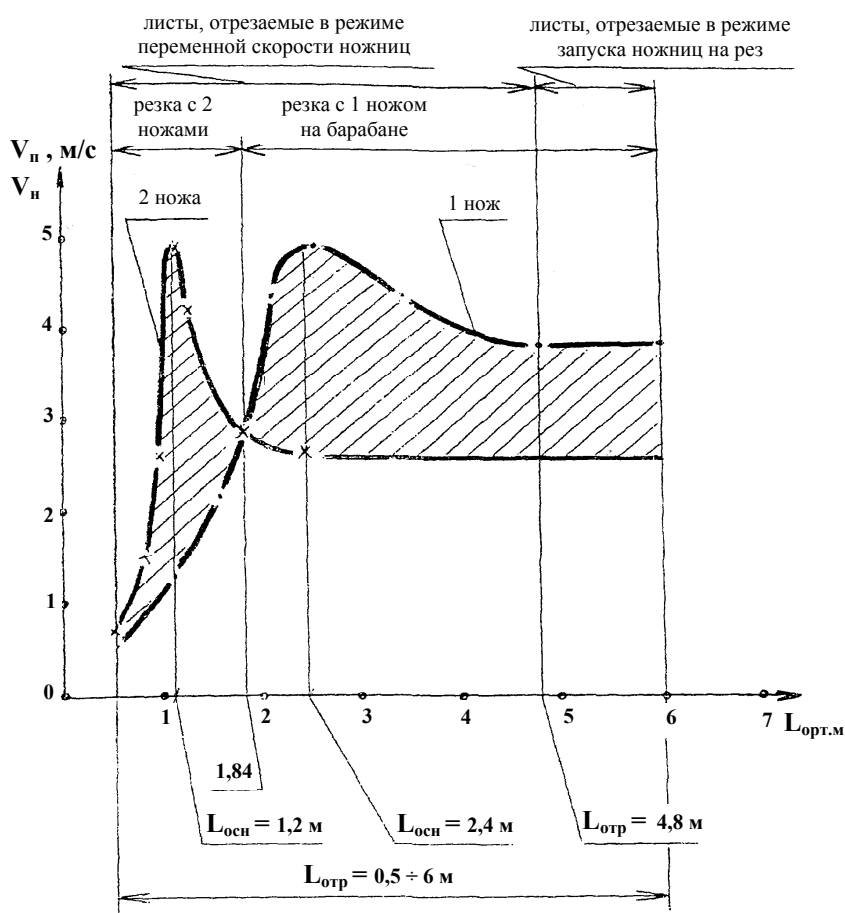


Рис. 3. Графики изменения скорости ножей при резе в зависимости от длины отрезаемых листов

Описываемый способ управления скоростным режимом установки барабанных летучих ножниц заключается в выборе значений основных отрезаемых длин листов (на основе исходных данных), разбивке всего диапазона длин отрезаемых листов на два интервала, в одном из которых полоса режется с использованием на каждом барабане двух ножей, в другом – одного ножа.

Граничную длину листов между интервалами длин определяют расчётом при равенстве скоростей резания ножниц с использованием одного или двух ножей (из равенства V_n по формулам (4) и (7)):

$$L_{\text{отр}} = \frac{3}{2} \pi r_n. \quad (8)$$

Полученные зависимости [4, 5] используются в системах автоматизированного управления летучими барабанными ножницами, создаваемыми на ЗАО «НКМЗ».

На металлургическом комбинате «Северсталь» (г. Череповец, Россия) в агрегате поперечной резки № 3 цеха отделки металла смонтирована и пущена в эксплуатацию установка летучих высокопроизводительных барабанных ножниц для мерной резки полосы в комплексе с 17-ти роликовой правильной машиной (рис. 4).

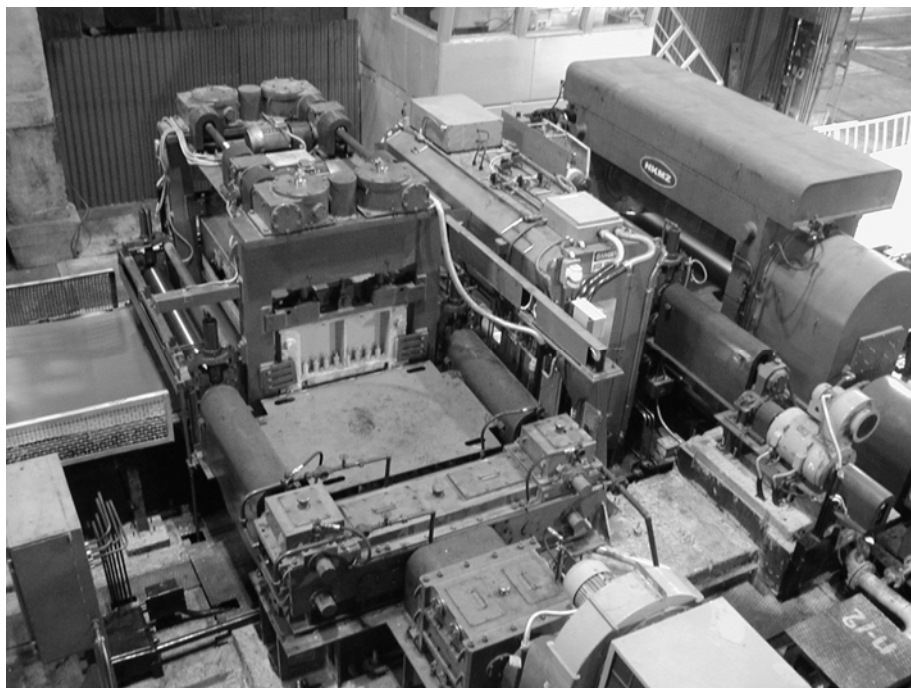


Рис. 4. Установка ножниц летучих на АО «Северсталь»

Установка летучих ножниц спроектирована и изготовлена специалистами ЗАО «НКМЗ» и отличается от известных аналогичных машин, широко применяемых на металлургических заводах СНГ, рядом новых решений [4–7], направленных на повышение производительности, точности геометрических размеров получаемой продукции, автоматизации основных и вспомогательных технологических процессов.

При создании установки ножниц были учтены все особенности реконструируемого агрегата поперечной резки, в том числе большой диапазон отрезаемых длин листов (0,5–6 м), высокие требования к качеству их кромки и поверхности, скоростные характеристики агрегата, широкая номенклатура продукции при отгрузке её мелкими партиями и др.

К характерным особенностям летучих ножниц следует отнести, прежде всего, электрическую связь между приводами клетки ножниц и правильной машины с управлением их режимами движения от автоматизированной системы. Это позволило без применения сложных механических устройств реализовать необходимую в системе мерного реза кинематику вращения барабанов ножниц – режим непрерывного вращения, режим электрического выравнивания скоростей, режим запуска на рез.

Прогрессивная конструкция базовых машин в сочетании с оригинальной системой автоматизированного электропривода позволила достичь высоких показателей, как по качеству продукции, так и по эксплуатационным характеристикам оборудования.

Рабочая документация электроприводов и систем автоматизации, в том числе и разработка программного обеспечения, изготовление блоков питания, программируемых контроллеров, пультов управления осуществлялись силами украинских предприятий – АО «ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ» и НПП «Компэл» (г. Харьков). При разработке алгоритмов управления приводом ножниц созданы оригинальные разгонно-тормозные режимы вращения барабанов ножниц, позволившие достичь экономии в затратах электроэнергии при резке ножницами длин листов, отличающихся от основной длины [8].

ВЫВОДЫ

1. Преимущественное применение в агрегатах поперечной резки находят барабанные летучие ножницы, кинематика мерного реза в которых осуществляется с помощью числового программного управления их электроприводом. Это позволяет реализовать любые заданные режимы движения исполнительных механизмов, добиться улучшения конструктивных, динамических и технологических параметров ножниц за счёт исключения из цепи привода сложных и громоздких механизмов выравнивания скоростей, пропуска реза, коробок и вариаторов скоростей.

2. Применение рассмотренного способа оптимизации скоростных параметров барабанных летучих ножниц позволяет увеличить их производительность, не повышая динамические нагрузки, и мощность электродвигателей в их приводе путём выбора наиболее приемлемых для заданного диапазона длин листов диаметров барабанов и числа установленных на них ножей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сумский С. Н. *Металлосберегающие технологии раскроя проката* / С. Н. Сумский // *Сталь*. – 2003. – № 6. – С. 55–60.
2. Сумский С. Н. *Совершенствование агрегатов поперечной резки листового проката* / С. Н. Сумский // *Сталь*. – 2003. – № 11. – С. 83–86.
3. Колесников Ю. Н. *Совершенствование высокопроизводительных летучих барабанных ножниц для мерной резки полосового проката* / Ю. Н. Колесников, С. А. Гриценко, В. И. Елецких // *Металлург*. – 2004. – № 11. – С. 48–49.
4. Пат. № 2259905 РФ. *Способ управления скоростным режимом установки летучих барабанных ножниц с электрической связью подающего и режущего устройств при мерной резке полосового проката* / Ю. Н. Белобров, В. И. Елецких, С. А. Гриценко.
5. Пат. № 66902 Украина. *Способ управления скоростным режимом установки летучих барабанных ножниц с электрической связью подающего и режущего устройств при мерной резке полосового проката* / Ю. Н. Белобров, В. И. Елецких, С. А. Гриценко.
6. Пат. № 62499А Украина. *Летучие барабанные ножницы* / Ю. Н. Белобров, Ю. Н. Колесников, С. А. Гриценко, В. И. Елецких. – 2003, Бюл. № 12.
7. Пат. № 4566А Украина. *Летучие барабанные ножницы* / В. И. Елецких, С. А. Гриценко, В. С. Стеч, С. Э. Капорович, Н. И. Рубленко. – 2005, Бюл. № 1.
8. Пат. № 28979А. Украина *Способ регулирования положения электропривода* / В. И. Холодный, В. А. Поливанов. – 2000.

Елецких В. И. – канд. техн. наук, нач. бюро ЗАО «НКМЗ»;

Гриценко С. А. – главный инженер проекта ЗАО «НКМЗ».

ЗАО «НКМЗ» – ЗАО «Новоукраинский машиностроительный завод», г. Краматорск.

E-mail: po-blr@nkmz.donetsk.ua