

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

КУЗНЕЦОВ АНАТОЛИЙ БОРИСОВИЧ

УДК 621.771.06.09-52:621.967.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ПРОКАТА
НА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦАХ НЕПРЕРЫВНО-ЗАГОТОВОЧНОГО СТАНА

Специальность 05.13.07 - "Автоматизация
технологических процессов и производств (промышленность)"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Челябинском ордена Трудового Красного знамени и ордена Октябрьской Революции металлургическом комбинате и Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор ЦЫГАНКОВ В. А.

Официальные оппоненты : доктор технических наук,
профессор МАКРЕЕВ В. С. ,
кандидат технических наук,
доцент ЕГОРОВ В. С.

Ведущее предприятие - Институт проблем управления (ИПУ),
г. Москва.

Защита состоится 19 марта 1986 года, в _____ часов, на заседании специализированного совета К. 053.13.04 Челябинского политехнического института (454044, Челябинск, 44, проспект им. В. И. Ленина, 76).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1986 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

А. П. Сибрин

30X

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Намеченная партией линия на ускорение научно-технического прогресса указывает на необходимость интенсификации экономики, в частности, прокатного производства на основе его реконструкции, автоматизации технологических процессов и широкого внедрения вычислительной техники.

В области автоматизированного управления технологическими процессами на непрерывно-заготовочных станах (НЗС) ведущее место принадлежит автоматизации процесса резки проката на летучих ножницах (ЛН), что позволит повысить выход годного на стане без интенсификации процесса прокатки. В то же время при резке проката имеются все еще значительные потери металла, вызванные несогласованностью в управлении отдельными операциями резки, отсутствием учета эффективности работы непрерывных мелкосортных станов (НМС), неоптимальностью алгоритмов управления процессом. Даже частичное устранение данных недостатков позволит существенно повысить эффективность работы прокатного передела и получить большой народнохозяйственный эффект.

Успешное решение этих проблем возможно только при поиске новых технических решений, направленных на полную автоматизацию процесса резки с применением ЭВМ. Поэтому работы, направленные на улучшение технико-экономических показателей процесса резки на основе его автоматизации, являются важными и актуальными.

Цель работы. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) резки проката на ЛН НЗС, обеспечивающей наилучшие технико-экономические показатели работы НЗС в переделе с НМС. Для достижения заданной цели решаются следующие задачи: 1) исследование технико-экономической эффективности процесса резки проката на ЛН НЗС и разработка основных принципов оптимального управления процессом; 2) синтез статистически-оптимальной стратегии управления раскроем на НЗС в переделе с НМС; 3) разработка алгоритмов управления технологическими операциями раскроя, фазирования ножей с передним торцом раската для его зачистки и загрузки подката в чистовую группу клетей (ЧГК) НЗС; 4) разработка и внедрение АСУТП, обеспечивающей надежную реализацию разработанных алгоритмов управления процессом.

Научная новизна. Сформулирован вероятностный технико-экономический критерий эффективности управления процессом резки проката

на ЛН НЭС. Показано, что основные параметры технологических операций раскроя, фазирования ножниц и загрузки подката в ЧК взаимосвязаны, а максимальная эффективность процесса резки может быть достигнута при взаимосвязанном управлении этими операциями. Сформулированы основные принципы взаимосвязанного управления. Разработана методика и выполнен синтез статистически-оптимальной стратегии управления раскром проката на НЭС с учетом показателей работы НМС. Получены условия оптимальности и сформулированы принципы оптимального прогнозирования длины раската на выходе НЭС по критерию минимума дисперсии длин заготовок. Исследовано влияние управления операциями фазирования ножей и загрузки подката в ЧК на производительность НЭС.

Практическая ценность. Разработаны алгоритмы управления технологическими операциями раскроя проката, фазирования ножниц и загрузки подката в ЧК. Разработана АСУТП резки проката на летучих ножницах НЭС и методы, повышающие надежность функционирования системы.

Реализация работы в промышленности. Первая очередь разработанной АСУТП введена в промышленную эксплуатацию на НЭС 900/700/500 ЧМК в 1984 году с экономическим эффектом 100,6 тыс. рублей в год. Система управляет раскром проката. АСУТП в полном объеме принята к внедрению в 1986-87 годах.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзном научно-техническом совещании "Опыт разработки и внедрения АСУ прокатными станами" (г. Киев, 1979 г.); на VI и VII областных конференциях молодых специалистов и ученых предприятий и организаций черной металлургии (г. Златоуст, 1979 г.; г. Челябинск, 1984 г.); на областной научно-технической конференции "Пути экономии и рационального использования ресурсов в одиннадцатой пятилетке" (г. Челябинск, 1983 г.); на Всесоюзной научно-технической конференции "Микропроцессоры в промышленных системах управления" (г. Челябинск, 1982 г.); на Всесоюзной научно-технической конференции "Новые технологические процессы прокатки, интенсифицирующие производство и повышающие качество продукции" (г. Челябинск, 1984 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано II работ и получено одно положительное решение на выдачу авторского свидетельства.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 146 страницах машинописного текста, иллюстрируется рисунками и таблицами на 43 страницах и состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, заключения, списка литературы из 139 наименований и трех приложений на 23 страницах.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕЗКИ ПРОКАТА НА ЛЕТУЧИХ НОЖИЦАХ НЭС

Процесс резки проката на ЛН НЭС включает две технологические операции: раскрой раската на заготовки и фазирования ножей с передним торцом раската для его зачистки.

Для оценки технико-экономической эффективности операции раскрой рассматривается технологический комплекс раскрой проката на переделе НЭС-НМС, который представляется тремя стадиями: раскрой на ЛН НЭС, раскрой на ЛН НМС, раскрой на готовые прутки на линии холодной резки (ЛХР) НМС. В известных теоретических работах по сквозной оптимизации раскрой постановка задачи для данного передела сформулирована в предположении, что при раскросе на НЭС известен заказ (профиль, длина) на готовую продукцию НМС. Анализ работы передела показывает, что в большинстве случаев данное допущение не соблюдается, так как назначение партии металла для прокатки и дальнейшего раскроса на НМС производит планово-распределительное бюро этого цеха, что вызвано накоплением на адьюстаже НЭС монтажной партии проката и многоцелевым назначением каждой марки стали. Информация о длине заготовки может быть представлена только статистически, а эффективность двухстадийного раскроса на НМС для всего сортамента определяется параметрами функции плотности распределения $f(\ell)$ длин ℓ заготовок в плавке. Наибольшая эффективность НМС достигается при одинаковых, максимально возможных длинах ℓ_n заготовок. Тогда $f(\ell)$ является дельта-функцией. При любой другой функции распределения возникает потеря производительности НМС ΔP_2 , ЛХР ΔP_3 , дополнительные потери проката в обрызг G_3 на ЛХР. Очевидно, эти потери носят вероятностный характер, так как зависят от $f(\ell)$. Цель управления операцией раскроса на НЭС состоит в минимизации стоимостных потерь на переделе, выраженных вероятностным критерием

$$Q_p = \sum_{i=1}^n P_i \{ (C_1 - H) G_1(\sigma_n, \sigma_n) + \max \{ \Delta P_2^j, \Delta P_3^j \} u_i + C_3 G_3^j \}, \quad (1)$$

где ρ_j - вес j -го заказа в общем объеме производства НМС;
 C_1, C_2 - цена 1 т обрезки на НЭС и НМС; B - стоимость топлива на нагрев 1 тонны проката в методической печи НМС; U_2 - условно-постоянная часть расходов в сортопрокатном цехе; G_1 - вес обрезки на НЭС; σ_n, σ_m - средние квадратичные ошибки прогнозирования длины раската на выходе НЭС и мерного реза при раскросе раската.

Технико-экономический критерий эффективности управления операцией фазирования $Q_{\text{ф}}$ складывается из затрат электроэнергии на управление ЛН, затрат на ремонт ножиц, а также стоимостных потерь, обусловленных дополнительной обрезью при зачистке раската, простоями и снижением производительности НЭС за горячий час работы. Показано, что наибольшая эффективность управления операцией фазирования достигается при астатическом законе отработки угла α_0 рассогласования ножей с положением переднего торца раската в ЧТК и при уменьшении средней квадратичной ошибки первого зачистного реза σ_λ , паузы между раскатами и угла рассогласования α_0 : $Q_{\text{ф}} = F(|\alpha_0|, \tau, \sigma_\lambda, \omega_s)$, где ω_s - синхронная скорость ножей при фазировании.

Анализ процесса резки на ЛН НЭС показывает, что основные параметры исследуемого процесса $\sigma_n, \sigma_m, \sigma_\lambda, \alpha_0, \tau, \omega_s$ взаимосвязаны (рис. 1). Ввиду этого, наибольшая эффективность процесса резки проката на ЛН НЭС, определяемая критерием $Q = Q_p + Q_{\text{ф}}$, может быть достигнута только при взаимосвязанном управлении тремя технологическими операциями: раскросе раската, фазирования ножей и загрузки подката в ЧТК. Основные принципы взаимосвязанного управления состоят в следующем:

1. Синхронная скорость ω_s при астатической отработке рассогласования при фазировании должна выбираться из условия обеспечения минимальной ошибки первого мерного реза при раскросе раската.

2. Управление загрузкой подката в ЧТК должно выполняться по критерию минимума квадрата угла рассогласования ножей.

3. Расчет раскройного плана должен производиться с учетом фактической длины передней обрезки.

4. Минимизация ошибки последнего зачистного реза $\Delta \gamma$ на раскате позволяет более точно реализовать зачистку и раскрой следующего раската.

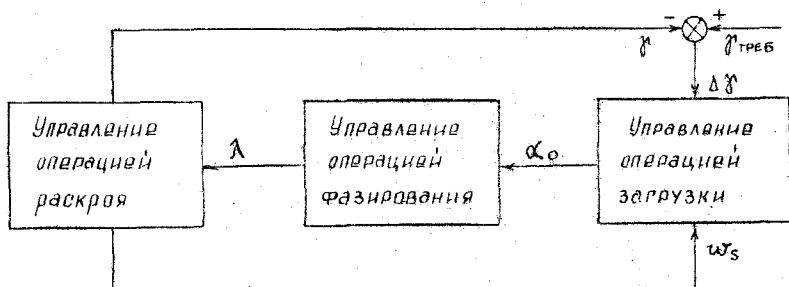


Рис. 1. Взаимосвязь основных параметров процесса резки проката на летучих ножницах НЗС

СИНТЕЗ СТАТИСТИЧЕСКИ-ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ РАСКРОЯ ПРОКАТА НА НЗС В ПЕРЕДЕЛЕ С НМС

Оптимизация критерия (I) выполняется поэтапно: двигаясь от последней стадии трехстадийного раскроя к первой.

На первом этапе синтеза рассматривается операция резки пакета штанг на ЛХР НМС при симметричной и одномодальной функции плотности вероятности координат передних торцов штанг $f(s)$. Количество обрези, получаемое при i -м резе на торце пакета штанг составит

$$m_q(x_i/x_{i-1}) = n_w \int_{x_i}^{x_i+q} (s-x_i) f(s) ds, \quad (2)$$

где n_w - количество штанг в пакете; x_{i-1}, x_i - координаты предыдущего и текущего резов; q - максимальная длина прутков, идущих в обрыз. Оптимизация резки проката на торцах пакета штанг состоит в нахождении таких координат резов $X = (x_0, \dots, x_n)$ и их числа $n = \dim X$, которые обеспечивают минимум

$$\min_n \min_X \sum_{i=1}^n m_q(x_i/x_{i-1}) \quad (3)$$

при ограничениях: $d_i = x_i - x_{i-1} \leq h, i = 1, 2, \dots, n$, где h - максимальная длина прутков. В работе получены частные решения (3) при различной длине разброса Q торцов штанг в пакете. При этом функция $m_q(x)$ представляется в виде

$$m_q(x) = \begin{cases} \psi_1(x) & \text{при } x \leq q \\ \psi_2(2q^* - x) & \text{при } x > q \end{cases}, \quad (4)$$

где q^* - координата экстремума функции $m_f(x)$; $\psi_1(x) = \psi_2(2q^* - x)$.
 Например, для случая $h - q \leq R \leq h$, $d = x_0 - x_1$ минимум суммарного количества обрези

$$m_{q^*}(x_0, x_0 - d) = \psi_1(x_0 - d) + \psi_2(2q^* - x_0)$$

достигается при $x_0 = q^* + d/2$; $x_1 = q^* - d/2$. Перемещение ножа должно быть максимальным: $d = h$, так как функция $\psi_1(x)$ является монотонно возрастающей.

Для общего случая показано, что задача (3) имеет оптимальное решение при количестве резов $n_{\text{рез}} = \mathcal{E}\{(R, q)/h\}$ и $n_{\text{рез}} + 1$, координаты резов (x_0, x_1, \dots, x_n) должны быть расположены симметрично относительно точки q^* , расстояние между резами должно быть максимальным $x_i - x_{i-1} = h$, $i = 1, 2, \dots, n$, а при нечетном количестве резов один рез производится в точке $q^* = m_f - q/2$, где m_f - точка максимума $f(s)$. Показано, что при данном решении суммарное количество обрези монотонно возрастает в функции величины разброса R торцов штанг в пакете. Так как ручная и автоматизированная резка на ЛХР дают пропорциональные результаты, то данный вывод справедлив и для ручной резки на ЛХР.

На втором этапе синтеза рассмотрены различные стратегии раскроя раската на летучих ножницах НМС. При раскрое по уставке, ступенчатом и равномерном раскрое на ЛН НМС суммарный разброс неравняемых торцов в пакете составляет

$$\begin{aligned} R_{\text{уст}} &\approx b \sqrt{\sigma_{L_2}^2 + \sigma_y^2} ; \\ R_{\text{ст}} &\approx \Delta m \mathcal{E} \left[b \sigma_{L_2}^2 / (\Delta m N_2) \right] + b \sigma_y ; \\ R_{\text{равн}} &\approx b \sqrt{\sigma_{L_2}^2 / N_2 + \sigma_y^2} , \end{aligned} \quad (5)$$

где σ_{L_2} , σ_y - среднее квадратичное отклонение длин L_2 раскатов и координат y выравниваемых торцов штанг; Δm - кратность ступенчатого раскроя; N_2 - количество штанг, выкраиваемых из одного раската. Из (5) следует, что суммарный разброс R торцов штанг в пакете пропорционален дисперсии длин раскатов. Так как $L_2 = K_{\text{выт}} \ell$, где $K_{\text{выт}}$ - коэффициент вытяжки НМС, ℓ - длина заготовки, то для снижения обрези при двухстадийном раскрое на НМС необходимо минимизировать дисперсию D_e длин заготовок.

Для синтеза оптимальной стратегии раскроя на ИЭС рассматривается два типа раскройных планов: безотходные и с рациональной дополнительной обрезью. Послед i раскройный план при выполнении

условия

$$L - \ell_n \in [L/\ell_n] \leq \gamma_{доп}$$

предполагает раскрой на заготовки макимальных длин ℓ_n с остатком $\Delta \gamma$, где L - длина раската НЭС; $\gamma_{доп}$ - предельная длина дополнительной обрезки.

При целевой функции D_ℓ для безотходного раскроя оптимальным является равномерный раскройный план, который обеспечивает наименьшую дисперсию длин заготовок $D_\ell = D_L/N^2$. Данный вывод справедлив, если из каждого раската выкраивается одинаковое число заготовок N . Однако вследствие разброса длин раскатов и ограниченного допуска Δ на длину заготовки число заготовок N является случайной величиной. Тогда, для обеспечения минимума D_ℓ из каждого раската при равномерном раскройном плане надо выкраивать такое число заготовок, при котором отклонение длин заготовок от математического ожидания $m_\ell = M_L/N^*$ будет наименьшим:

$$\min_N [\ell(L, N) - M_L/N^*];$$

$$N^* = \underset{N}{\operatorname{argmin}} (M_L/N^* - \ell_n + \Delta/2), \quad (6)$$

где M_L - матожидание длин раскатов в шлавке. Оценку M_L можно выполнить по развесу слитка, поступающего на прокатку. Результаты статистического моделирования показывают, что стратегия (6) раскроя на НЭС обеспечивает наименьшую дисперсию длин заготовок по сравнению с известными стратегиями.

Полученные результаты для безотходного раскроя позволяют утверждать, что если известна оптимальная длина предельного остатка $\gamma_{доп}$ для раскроя с рациональной дополнительной обрезью, то раскрой остаточной длины $L - \Delta \gamma$ должен быть равномерным. Поэтому для синтеза оптимальной стратегии раскроя на НЭС достаточно решить оптимизационную задачу

$$\min_{\gamma_{доп}} Q_p(\gamma_{доп}), \quad (7)$$

где критерий Q_p определен в (1). В работе показано, что при прокатке на НЭС заготовок "встык" реального повышения производительности стана от увеличения $\gamma_{доп}$ не происходит, а дисперсия длин заготовок D_ℓ возрастает, что приводит к увеличению обрезки на НЭС. В результате, для передела НЭС-НМС статистически-оптималь-

ным является безотходный равномерный раскройный план с оптимизацией числа заготовок из раската по критерию (6).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ РЕЗКИ ПРОКАТА НА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦАХ НЗС

Колебания длин заготовок, кроме разброса длин L раскатов, вызваны также ошибками δ_m резов и ошибками δ_n прогнозирования длины раската. Вводится понятие идеального раскроя, при котором все N заготовок, выкраиваемые из раската, одинаковы и равны $l_u = L/N$.

Ошибка ν реализации раскроя на ρ -том резе равна отклонению длины заготовки от l_u .

С увеличением числа ρ резов влияние ошибки δ_n возрастает, поэтому необходимо производить повторные уточнения остаточной длины раската и основным требованием к процедуре прогнозирования будет сходимость ν к нулю:

$$\lim_{\rho \rightarrow N} (\delta_n + \sum_{i=\rho}^N \delta_{m,i}) = 0. \quad (8)$$

Второе требование к алгоритму прогнозирования состоит в обеспечении теоретической раскраиваемости остаточной длины раската, для чего необходимо, чтобы накопленная ошибка реализации раскроя удовлетворяла условию

$$\frac{N-\rho-1}{N} (L - l_n N) < \sum_{i=1}^{\rho} \nu(i) < \frac{N-\rho}{N} [L - (l_n - \Delta) N]. \quad (9)$$

В диссертации сформулированы основные принципы прогнозирования длины раската на выходе НЗС, обеспечивающие выполнение условий (8) - (9) оптимальности. При этом показано, что дисперсия $D_Y(S_h)$ остаточной длины раската на выходе стана в функции расстояния заднего торца раската от выдающей клетки НЗС S_h монотонно убывает

$$\lim_{S_h \rightarrow 0} D_Y(S_h) = 0. \quad (10)$$

Таким образом, метод периодической оценки остаточной длины $L_Y(S_h)$ раската по результатам измерения этой длины на предыдущих раскатах обеспечивает выполнение первого условия (8) оптимальности алгоритма прогнозирования, что обосновывает целесообразность применения данного метода. Однако при больших изменениях парамет-

ров подката или стана текущее среднее $\bar{L}_Y(S_h)$ также изменяется и в начале раскроя раската резко увеличивается вероятность нарушения второго условия (9) оптимальности, так как оценка $\hat{L}_Y(S_h)$ выполняется с запаздыванием на один раскат. Поэтому в первой стадии раскроя прогнозирование необходимо выполнять с использованием информации об изменении коэффициента вытяжки ЧК на текущем раскате. Таким образом, показано, что использование методов прогнозирования зависит от стадии процесса раскроя.

В работе предложен и исследуется способ прогнозирования длины раската, который использует текущую оценку отношения расчетной длины l_Y заготовки к пути S_x подката за время между смежными $(\rho-1)$ -м и ρ -м резами

$$k(\rho) = \frac{l_Y(\rho)}{S_x(\rho)}, \quad (II)$$

что обеспечивает выполнение условий (8) - (9) оптимальности и адаптацию к изменению коэффициента вытяжки ЧК. Оценка остаточной длины раската выполняется по формуле

$$L_Y(\rho) = L_x(\rho) k(\rho), \quad (I2)$$

где $L_x(\rho)$ - длина непорезанной части подката. При исследовании метода прогнозирования (II) - (I2) установлено следующее: 1) обеспечивается адаптация к изменению систематической ошибки мерного реза ЛН, что позволяет применять для управления раскроем простые тахометрические САУ скоростью ЛН; 2) не требуется обеспечение высокой точности измерителя скорости подката, так как ошибка прогнозирования практически не зависит от погрешности измерения скорости подката.

Для практического применения данного метода прогнозирования разработан алгоритм прогнозирования, использующий релейно-экспоненциально сглаженные оценки параметра адаптации k на текущем раскате и восстановительно-прогнозирующие оценки для следующего раската.

Оценка эффективности алгоритма выполнялась по дисперсионному критерию

$$J_d = N_{cp}^2 \frac{D_e}{D_L}, \quad (I3)$$

где D_e, D_L - дисперсия длин заготовок и длин раскатов НЗС,

N_{cp} - среднее число заготовок из раската. Результаты имитационного моделирования показали, что разработанный в диссертации ал-

горитм прогнозирования обеспечивает наименьшее значение критерия (13) по сравнению с другими известными алгоритмами прогнозирования, использующими технологические параметры входа ЧТК.

При исследовании влияния ошибок прогнозирования на количество обрези показано, что расчет длины заготовки по процедуре (6) необходимо выполнять с учетом средней ошибки прогнозирования на предыдущих раскатах.

При управлении технологической операцией фазирования ножей с передних торцом раската, находящегося в ЧТК, необходимо решить две задачи: оценка рассогласования α по углу ножей и обработка этого рассогласования. Сформулированы основные принципы оптимального управления фазированием ножей: 1) для снижения пауз между раскатами обработку рассогласования необходимо начинать с момента последнего зачистного реза на предыдущем раскате; 2) обработку рассогласования при фазировании надо выполнять по астатическому закону регулирования, что обеспечивает наименьшие ударные нагрузки на привод ЛН и расход электроэнергии. Угол рассогласования оценивается по формуле

$$\alpha = \omega_s \hat{T} - 2\pi n_{об} - \varphi, \quad (14)$$

где ω_s - синхронная скорость ножей; φ - угол ножей; $n_{об}$ - число целых оборотов ножей до зачистного реза; \hat{T} - оценка оставшегося времени T движения переднего торца раската до оси реза ЛН. В ЧТК устанавливаются датчики наличия проката и фиксируется время $T_{i_d j}$ движения переднего торца j -го раската от каждого i_d -го датчика ($i_d = 1, 2, \dots, n_d$) до оси реза. Ошибка оценки $\hat{T}_{i_d j} = f(T_{i_d(j-1)}, T_{i_d(j-2)}, \dots)$ монотонно снижается при приближении раската к оси реза, что обеспечивает высокую точность зачистки.

При обработке рассогласования скорость ЛН вычисляется по формуле

$$\omega_i = \left[2\pi n_{об}(i) + \Delta\varphi(i) \right] / \hat{T}_i, \quad (15)$$

где i - номер такта уточнения ω ; $\Delta\varphi$ - оставшийся угол ножей до их ближайшего сведения. Для реализации данного принципа обработки рассогласования необходимо, чтобы установившаяся скорость ножей принадлежала интервалу скоростей ($\omega_{min} \dots \omega_{max}$), соответствующему разрешенному диапазону коэффициентов обгона ЛН над скоростью проката. Для каждой начальной скорости ножей и угла рассогласования определено минимальное время T_{min} его обработки при

$\omega \in (\omega_{\min}, \omega_{\max})$. Если $T < T_{\min}$, то закон регулирования (I 5) не применим и обработка рассогласования производится по треугольной тахограмме. В соответствии с сформулированными принципами управления разработаны алгоритм и САУ фазированием ножей.

Задача оптимального управления технологической операцией загрузки подката в ЧПК состоит в минимизации дисперсии рассогласования по углу ножей при фазировании

$$\min_{\tau_n} D(\alpha_0), \quad (I 6)$$

где τ_n - пауза на входе ЧПК. Существует множество оптимальных пауз, при которых $\alpha_0 = 0$:

$$\tau_{n_{\text{опт}}} = \frac{1}{\omega_s} (2\pi n_0 - \omega_s \tau_k), \quad (I 7)$$

где τ_k - отклонение паузы на оси реза от паузы на входе ЧПК, n_0 - число полных оборотов ножей на синхронной скорости до зачистного реза. Оптимальная пауза реализуется притормаживанием подката на время

$$\Delta \tau_{\text{опт}} = \min_{n_0} \{ \tau_{n_{\text{опт}}}(n_0) - \tau_n \}, \quad (I 8)$$

которое осуществляется остановкой рольганга на время τ_u . При допущении о равнозамедленном движении подката получена зависимость $\tau_u = f(\Delta \tau_{\text{опт}})$ и показано, что в процессе регулирования необходимо уточнять параметры данной модели.

Время задержки $\Delta \tau$ является случайной величиной, поэтому появляется вероятность накопления металла перед ЧПК, что равносильно снижению производительности НЗС. При расчете τ_u необходимо учитывать технологическую ситуацию на НЗС, для чего система управления должна иметь информацию о паузах $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_\eta$ между всеми раскатами, находящимися на НЗС. Необходимое условие, при выполнении которого разрешается притормаживание раската на время $\Delta \tau_1$, представляется в виде

$$\Delta \tau_1 \leq \tau_\eta - \tau_{\min} + \sum_{i=1}^{\eta-1} \{ \mathbf{1}(\tau_{\min} - \tau_i) (\tau_{\min} - \tau_i) \}, \quad (I 9)$$

где $\mathbf{1}(\dots)$ - единичная релейная функция. Разработан алгоритм управления темпом загрузки подката в ЧПК, который включает следующие действия: 1) измерение фактических пауз $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_\eta$; 2) расчет оптимальной паузы $\tau_{n_{\text{опт}}}$ и времени задержки подката $\Delta \tau_{\text{опт}}$;

- 3) анализ технологической ситуации и принятие решения о задержке подката;
- 4) расчет времени отключения рольганга $\tau_u = f(\Delta\tau_{\text{онт}})$;
- 5) уточнение параметров модели торможения $\tau_u = f(\Delta\tau_{\text{онт}})$.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АСУТП РЕЗКИ ПРОКАТА НА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦАХ НЭС

АСУТП выполнена на базе управляющего вычислительного комплекса (УВК) СМ-I (рис.2) по принципу централизованной обработки инициативного запроса от датчиков и осуществляет двухэтапную реализацию управляющего воздействия при помощи локальных регуляторов скорости ножниц (МЭС) и транспортного рольганга (РП).

В основу построения АСУТП положены разработанные в диссертации алгоритмические и аппаратурные способы повышения надежности системы.

С этой целью разработаны и опробованы в действующей системе управления алгоритмы выявления инициативы с датчиков, программной фильтрации "дребезга" датчиков, распознавания технологических ситуаций на стане, слежения за движением металла, расчета основных технологических параметров процесса, инвариантные к отказу небольшого числа датчиков.

Опыт разработки, наладки и промышленной эксплуатации АСУТП показывает, что надежность всей системы в значительной степени определяется надежностью распознавания и обработки инициативных сигналов датчиков. В этой связи алгоритм, обеспечивающий выполнение этой функции, должен в максимальной степени отображать в системе истинную технологическую ситуацию на объекте управления.

Информационная база АСУТП состоит из однотипных массивов информации, поставленных в соответствии раскатам, находящимся на технологической линии НЭС. При движении раскатов по стану в массивах накапливаются исходные и расчетные данные об их движении, а обращение к любому элементу массивов выполняется с помощью алгоритма слежения за металлом. Для организации слежения за металлом вся линия НЭС разделена на технологические участки, начало и конец которых фиксируется датчиками наличия металла. Алгоритм слежения определяет очередность движения полос по стану и расположение их торцов на каждом технологическом участке.

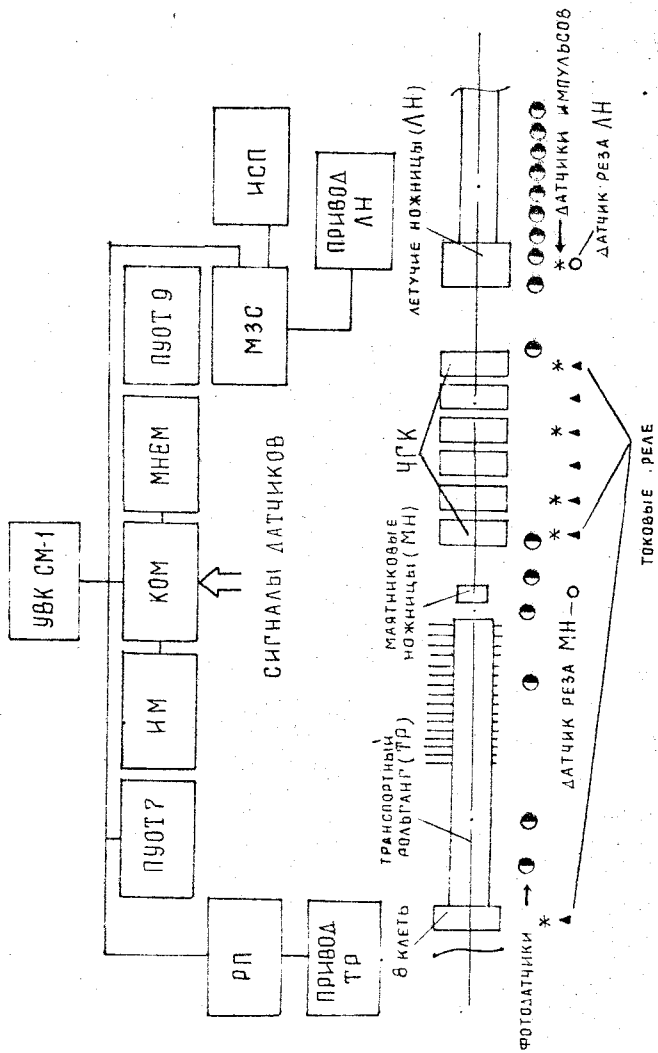


Рис.2. Структурная схема комплекса технических средств АСУП режки проката на летучих ножницах НЗС (КОМ-коммутатор; МНЕМ-мнемосхема технологического ИМ-имитатор сигналов датчиков; ИСП-измеритель скорости проката; остальные обозначения - в тексте)

Управление скоростью летучих ножиц для раскроя раската реализуется по тахометрической схеме от УВК во всем диапазоне допустимых коэффициентов обгона ЛН с компенсацией дрейфа параметров привода. Это исключает ошибки операторов ЛН при настройке скорости ножиц и эффективно при частых технологических переходах на НЗС.

Для обмена информацией с пультами управления (ПУОТ7, ПУОТ9) и выдачи уставок на локальные регуляторы (МЗС, РП) используется принцип информационной обратной связи, что обеспечивает надежную диагностику состояния каналов передачи информации и состояния периферийного оборудования АСУТП.

Первая очередь данной АСУТП внедрена в промышленную эксплуатацию в 1984 году на НЗС 900/700/500 Челябинского комбината с экономическим эффектом 100,6 тыс. рублей в год. В результате внедрения системы стабилизировалась длина задней технологической обрезки, уменьшился брак по размерам, повысилась культура работы операторов. Завершается внедрение системы автоматической загрузки подката в ЧТК НЗС 900/700-500. В полном объеме АСУТП принята к внедрению в 1986-87 годах.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Техничко-экономический критерий эффективности резки проката на летучих ножицах НЗС должен иметь вероятностный характер и учитывать основные экономические показатели операций фазирования ножиц и раскроя на НЗС, а также эффективность двухстадийного раскроя на НМС при отсутствии информации о назначении каждой партии металла для заказа на товарный прокат НМС.

2. Наивысшие технико-экономические показатели процесса резки проката на летучих ножицах НЗС достигаются при взаимосвязанном управлении операциями раскроя раската, фазирования ножей с передним торцом раската для его зачистки и загрузки подката в чистовую группу клетей стана.

3. Статистически-оптимальным для раскроя проката на НМС является равномерный раскрой на НЗС с оптимизацией числа заготовок из раската по критерию минимума дисперсии длин заготовок.

4. При частых технологических переходах на НЗС необходимо периодически уточнять остаточную длину раската при помощи двух способов прогнозирования: при установившейся прокатке - с использованием информации об изменении коэффициента вытяжки на текущем раскате; при прокатке заднего торца раската - с использованием измеренной на выходе НЗС остаточной длины предыдущих раскатов.

5. Разработан и опробован на практике алгоритм прогнозирования длины раската на выходе НЗС с периодическим уточнением отношения расчетной длины заготовки к пути подката, пройденному за время между смежными резами, что обеспечивает адаптацию к изменению систематической составляющей ошибки мерного реза и ошибки измерения длины проката.

6. Разработан адаптивный алгоритм управления операцией фазирования ножей ножниц, обеспечивающий монотонное уменьшение ошибки оценки угла рассогласования и его отработку по астатическому закону регулирования с момента зачистки заднего торца предыдущего раската.

7. Управление темпом загрузки подката в чистовую группу клетей НЗС позволяет существенно снизить начальный угол рассогласования ножей при фазировании и повысить производительность НЗС. Разработан алгоритм управления операцией загрузки подката, который обеспечивает релейное управление скоростью транспортного рольгана с учетом конкретной технологической ситуации на стане.

8. Разработана АСУТП, осуществляющая взаимосвязанное управление операциями раскроя, фазирования ножей и загрузки подката в чистовую группу клетей. Система выполняет централизованную обработку инициативного запроса от датчиков, использует единую информационную базу для расчета управляющего воздействия для каждой технологической ситуации, реализует децентрализованную выдачу управляющего воздействия при помощи локальных регуляторов.

9. Высокая надежность и быстроедействие АСУТП достигнуты за счет выполнения в системе следующих действий при обработке инициативных сигналов датчиков; с высшим приоритетом выполняется - выявление инициативы датчиков, съем информации с датчиков, программная фильтрация "дребезга" датчиков, постановка элементов в очередь прерываний; с приоритетом функциональных программ - выборка элементов прерываний из очереди, распознавание технологических ситуаций, слежение за движением металла, определение реакции системы на прерывание.

10. Первая очередь АСУТП, выполняющая управление раскромом проката, введена в промышленную эксплуатацию с экономическим эффектом 100,6 тыс.рублей в год. В полном объеме АСУТП принята к внедрению.

Промышленная эксплуатация первой очереди разработанной АСУТП, управляющей операцией раскромки проката, и опробование на практике алгоритмов управления загрузкой подката в стан и фазированием ножиц показали эффективность разработанных в диссертации принципов автоматизации процесса резки проката на летучих ножницах непрерывно-заготовочного стана.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:

1. Олевский А.Б., Кузнецов А.Б. Исследование эффективности автоматизированного управления раскромом проката на непрерывных мелкосортных станах. - Сталь, 1980, № 2, с.122-124.

2. Кузнецов А.Б., Олевский А.Б., Кац И.А. Определение и исследование эффективных средств автоматизации прокатного производства методом имитационного моделирования на примере непрерывного мелкосортного стана 250. - В кн.: Опыт разработки и внедрения АСУ прокатными станами. - М., ЦНИИТЭИ приборостроения, 1979, с.18.

3. Кузнецов А.Б. Оптимизация алгоритмов управления трехстадийным раскромом проката. - В кн.: Проектирование автоматических систем и элементов. - Челябинск, 1983, с.36-39.

4. Олевский А.Б., Кузнецов А.Б. Проблемно-ориентированная МП-система для управления раскромом проката на летучих ножницах. - В кн.: Микропроцессоры в промышленных системах управления. - Челябинск, 1982, с.30-31.

5. Кузнецов А.Б. Функции и структура АСУТП раскромки проката на летучих ножницах НЭС. - В кн.: Тезисы докладов областной научно-практической конференции "Пути экономии и рационального использования ресурсов в одиннадцатой пятилетке и участие молодежи в решении этой проблемы". - Челябинск, 1983, с.12-14.

6. Кузнецов А.Б., Головлев В.А., Шимановский С.Л. и др. Обеспечение надежности системы управления раскромом проката на летучих ножницах. - В кн.: Тезисы докладов областной научно-практической

конференции "Пути экономии и рационального использования ресурсов в одиннадцатой пятилетке и участие молодежи в решении этой проблемы". - Челябинск, 1983, с.10-11.

7. Кузнецов А.Б. Адаптивный алгоритм прогнозирования длины полосы. - В кн.: Тезисы докладов областной научно-технической конференции "Молодые ученые и специалисты предприятий и организаций черной металлургии - в борьбе за ускорение научно-технического прогресса и повышение производительности труда". - Челябинск, 1984, с.64-65.

8. Кузнецов А.Б., Олевский А.Б. Статистически-оптимальное управление раскромом проката на летучих ножницах НЗС в переделе с НМС. - В кн.: Новые технологические процессы прокатки, интенсифицирующие производство и повышающие качество продукции: Тез. докл. всесоюз. конф., Челябинск, 1984, с.110-112.

Подписано к печати 30.01.86. ФБ 02518. Формат 60x90 1/16. Печ. л. 1.
Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 94/156.

УОП ЧМ. 454044, г. Челябинск, пр.им. В.И. Ленина, 76.