

В процессе выполнения лабораторных работ студенты:

- изучают принципы подключения датчиков и исполнительных механизмов;
- изучают архитектуру контроллера;
- осваивают интегрированную среду разработки программного обеспечения для ПЛК PC WORX 6.00.25;
- проектируют графы состояний, описывающие работу программного обеспечения;
- осваивают язык FBD;
- выполняют в среде отладку программ;
- проверяют адекватность разработанного программного обеспечения на стенде с визуализацией процесса работы системы управления с помощью “Visu+”.

В дальнейшем предполагается расширение материальной базы путем введения в учебный процесс новых стендов, а также реализация на основе объектов WEB-лаборатории.

#### Список литературы

1. Минаев И. Г. Программируемые логические контроллеры: практическое руководство для начинающего инженера. / Ставрополь «Аргус» 2009 г.
2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты. / Под. ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.: ил.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 10.10.2012*

УДК 658.5.12.011.56(07)

© А.П. Егоров, М.Ю. Кузьменко, В.Н. Куваев, В.Я. Хижняк

## **АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ГОДНОГО МЕТАЛЛА В ОБРЕЗЬ И СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ**

Приведена классификация автоматических систем раскроя, рассмотрены проблемные вопросы раскроя проката, проведен анализ потерь при производстве проката на непрерывных мелкосортных станах.

Наведена класифікація автоматичних систем розкрою, розглянуті проблемні питання розкрою прокату, проведений аналіз втрат при виробництві прокату на безперервних мілкосортних станах.

In this article classification of automatic cutting systems is shown, problematic questions of cutting rolling were reviewed and on analysis of losses when producing rolling at continuous light-section mills was held.

Снижение отходов годного металла в обрезь при раскросе проката – одна из наиболее актуальных задач оптимизации операций в прокатном производстве, имеющая большое значение, так как затраты на металл составляют 80-95 %

в себестоимости прокатной продукции. Потери в виде концов и обрезки достигают 70-80 % всех потерь и отходов металла в прокатных цехах, поэтому в настоящее время уделяется большое внимание мероприятиям, направленным на снижение расходных коэффициентов [1].

Решение задач оптимального раскроя проката на современных станах основывается на использовании средств промышленной автоматики и вычислительной техники.

Понятие «оптимальный раскрой» обычно ограничивают лишь представлением об операции разделения какого-нибудь продукта на части с минимальным остатком. В прокатном производстве проблема оптимального раскроя охватывают, кроме порезки проката, ряд сложных операций переработки слитка в конечный продукт. При этом рассмотрение вопроса о оптимальности раскроя проката в условиях лишь одного звена технологической цепи, например только на блюминге, без определения эффективности переработки полученных заготовок при последующем переделе их, всегда приводит к грубым экономическим просчетам [2].

**Классификация и характеристика автоматических систем оптимального раскроя проката.** Классификация АСРР может быть выполнена на основе нескольких признаков, как показано на рис. 1.

Характер требований к получаемому в результате раскроя прокату, т.е. необходимость дозирования его по длине или по массе, определяется видом автоматизируемого производства (заготовочного или передельного), который и принят в качестве первого классифицирующего признака.

Способы получения информации о параметрах раскраиваемого проката существенно зависят от производства заготовок на МНЛЗ и заготовочных станах.

Третий классифицирующий признак – способ удовлетворения требований заказа – определяет вид алгоритма для расчета программы раскроя. Структура и функции управляющей вычислительной АСРР, в основном, определяются:

- характером ограничений на параметры получаемых при раскросе частей: возможны ограничения по массе или по длине;
- требованиями заказа к раскрою: должны быть получены мерные части;
- количеством позиций заказа, которые должны быть удовлетворены при раскросе: различают раскрой на части одного или нескольких заказов.

Системы рационального раскроя можно классифицировать также по способу определения параметров раскраиваемого проката, который принят в качестве четвертого классифицирующего признака.

В прокатном производстве к настоящему времени накоплен довольно большой опыт по разработке и эксплуатации автоматических систем оптимального раскроя проката для отдельных видов станов.

На подход к вопросу оптимизации раскроя на заготовочных станах оказывает влияние форма взаиморасчетов между производителем и потребителем заготовок, характеризующаяся отсутствием в настоящее время единого критерия эффективности оптимальности раскроя. На сегодняшний день вопрос оптимальности раскроя для непрерывно-заготовочного и мелкосортного станов решаются не независимо друг от друга. Если удастся отследить движение заго-

товки, которая идет под определенный заказ, то учитывая будущий сортамент продукции можно раскроить заготовку так, что ее масса будет пропорциональна массе мерных полос после МС. Алгоритм сквозного раскроя основан на определении требуемой длины штанги после заготовочного стана, кратной количеству полос на МС, длины которых кратны целому количеству мерных длин. Характерно, что требования к точности размеров заготовок определяются посредством системы допусков.

Интересы заготовочного стана выражаются в желании снизить отходы в обрезь, и обеспечить полное использование длины раската путем безотходного раскроя, для чего применяется при раскрое варьирование длины заготовок в пределах поля допусков. Заметим, что безотходный раскрой на заготовочном стане всегда можно считать рациональным при получении заготовок, предназначенных для производства немерных изделий.

С другой стороны, для потребителя заготовок, выполняющего на передельном стане заказ на мерную продукцию, с целью уменьшения количества обрезки при раскрое полосы готового профиля выгодно получать заготовки с минимальной вариацией массы.

Находящиеся в эксплуатации системы управления раскроем на заготовочных станах имеют существенный недостаток – раскрой на мерные заготовки производится без учета разброса величины площади поперечного сечения раската.

Это приводит, как указывалось выше, к вариации массы заготовок и, следовательно, к потерям металла в обрезь при их переделе на мерную продукцию. Поэтому с точки зрения интересов передельного стана, поле допусков на размеры мерных заготовок должно быть предельно сужено. В результате встречных требований заготовочного и передельного станов допуски на заготовки обычно устанавливаются некоторыми средними, компромиссными.

Такая традиционная схема взаимоотношений между поставщиком и потребителем заготовок (за исключением случаев, когда допуски на их размеры оговариваются особыми условиями или ГОСТом) несовершенна, однако, как видно из изложенного материала, она определила выбор критериев рациональности раскроя при создании многих АСРР. Теоретические вопросы назначения допусков на передельные заготовки практически не изучены с точки зрения минимизации суммарных потерь по всему прокатному переделу, следствием чего является недостаточная обоснованность технических требования к АСРР. В условиях рыночной экономики, вопрос о требованиях к параметрам передельных заготовок стоит гораздо остро. В данной ситуации необходимо рассматривать системы оптимального раскроя не по отдельности для каждого из станов, а в целом. Выкраивая заготовку нужно учитывать сортамент конечного продукта, что позволит в конечном счете увеличить количество мерных длин готового продукта. Одним из вариантов такой задачи является задача оптимального линейного раскроя материалов, в рассматриваемом случае – сквозной раскрой металлопроката.

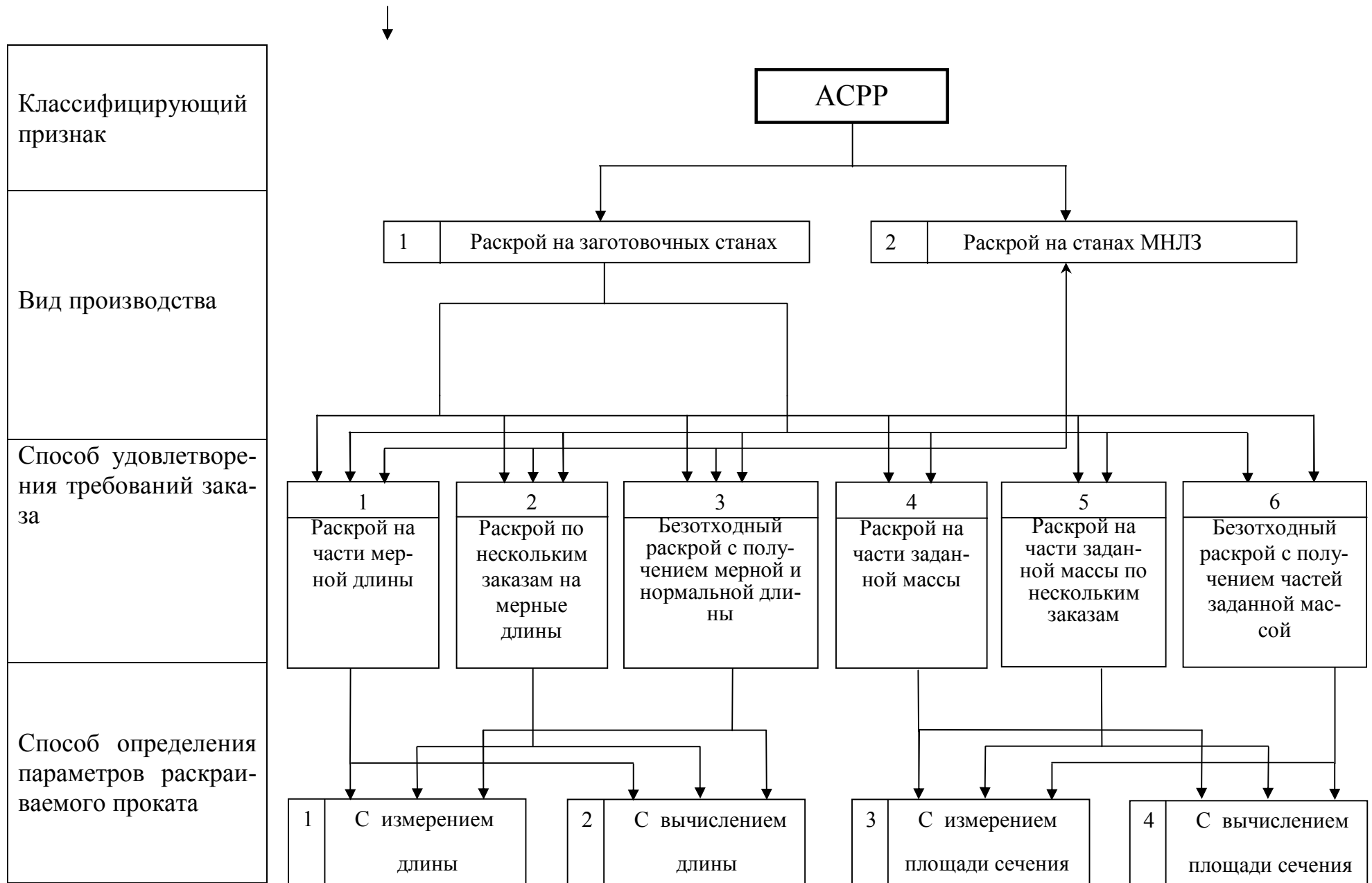


Рис. 1. Классификация автоматических систем рационального раскроя проката

**Анализ потерь при производстве передельных заготовок на заводе «Арселор Миттал Кривой Рог».** При выполнении мелкосортным станом 250 заказов на изготовление сортового проката мерной длины для уменьшения потерь годного металла в обрезь желательное использование заготовок с минимальной дисперсией массы. Однако на ножницах непрерывно-заготовочном стане 730/500 передельные заготовки дозируются по длине. При этом считается, что выполнение допусков на размеры поперечного сечения и длину заготовок должно обеспечивать требуемую точность их дозирования по массе.

Так как фактическая величина площади поперечного сечения и длина заготовок непостоянна, то их масса в ряде случаев отличается от номинального значения. Чтобы частично избежать этого, установлен положительный допуск на длину заготовки, а положительные допуски на размеры поперечного сечения (+3 мм) превышает отрицательные (-2 мм).

На величину поперечного сечения и длину заготовок оказывают влияние большое количество случайных факторов, поэтому для анализа потерь производства за счет раскройных операций целесообразен вероятностный подход [3]. Рассматривая массу заготовки как случайную величину, можно определить диапазон ее возможных значений:

$$\begin{aligned} G_{\text{мин}} &= \gamma(L_n - \Delta L_2)F_{\text{мин}} \\ G_{\text{макс}} &= \gamma(L_n + \Delta L_1)F_{\text{макс}} \end{aligned}$$

где  $\gamma$  – плотность металла;  $L_n$  – номинальная длина заготовки;  $+\Delta L_1, -\Delta L_2$  – допуски на длину заготовки;  $F_{\text{мин}}, F_{\text{макс}}$  – предельные значения площади поперечного сечения.

Длина полосы, полученной после прокатки заготовки на передельном стане, должна определяться с учетом вариации площади ее поперечного сечения. Если погонная масса полосы ограничена допустимыми величинами  $g_{\text{п.мин}}$  и  $g_{\text{п.макс}}$ , то длина годной части раскраиваемой полосы всегда будет находиться между значениями:

$$\begin{aligned} L_{\text{мин}} &= \frac{G_{\text{мин}}}{g_{\text{п.макс}}(1+k_y)} - l_k \\ L_{\text{макс}} &= \frac{G_{\text{макс}}}{g_{\text{п.мин}}(1+k_y)} - l_k \end{aligned}$$

где  $k_y$  – коэффициент угара в нагревательных печах;  $l_k$  – нормативная величина суммарной обрезки обоих концов полосы.

При нормальном распределении случайной величины  $L$ , принимая доверительную вероятность 0,997, математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение можно определить по формулам [4]:

$$\begin{aligned} M[L] &= \frac{1}{2}(L_{\text{макс}} + L_{\text{мин}}) \\ \sigma[L] &= \frac{1}{6}(L_{\text{макс}} - L_{\text{мин}}) \end{aligned}$$

Плотность распределения величины  $L$ , которую в дальнейшем будем называть длиной полосы, имеет вид:

$$f(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma[L]} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{L - M[L]}{\sigma[L]} \right)^2 \right\}$$

Пусть из каждой полосы должно выкраиваться  $n$  изделий мерной длины  $L_M$ . Если частное значение  $L_i$  попадает диапазон от  $L_1$  до  $L_n = nL_M$ , то из нее будет получено  $(n-1)$  мерных изделий. При этом ожидаемые потери металла в единицах длины, определяемые величиной заштрихованной области  $A$ , могут быть найдены по формуле

$$L_A = \sum_{i=1}^k [\bar{L}_i - (n-1)L_M] P(L_i < L < L_{i+1}),$$

где  $k$  – число частичных интервалов, на которые для упрощения вычислений разбивается участок  $(L_1, L_n)$ ;  $\bar{L}_i$  – средняя длина полосы в  $i$ -ом частичном интервале, ограниченном значениями  $L_i$  и  $L_{i+1}$ .

Для вычисления вероятного количества обрезки, соответствующего каждому  $i$ -му частичному интервалу, целесообразно воспользоваться разложением:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma[L]} \int_{L_i}^{L_{i+1}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{L - M[L]}{\sigma[L]} \right)^2 \right] dL = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[ x - \frac{x^3}{1!3} + \frac{x^5}{2!5} - \frac{x^7}{3!7} + \dots + (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{n!(2n+1)} \right]_{L_i}^{L_{i+1}}$$

где  $x = \frac{L - M[L]}{2\sigma[L]}$ .

Формулу для ожидаемого количества отходов, определяемого областью  $A$  (рис. 2), можно представить в следующем виде:

$$L_A = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{i=1}^{k-1} [\bar{L}_i - (n-1)L_M] \frac{L_{i+1} - L_i}{\sqrt{2}\sigma[L]} - \frac{1}{1!3(\sqrt{2}\sigma[L])^3} [(L_{i+1} - M[L])^3 - (L_i - M[L])^3] + \frac{1}{2!5(\sqrt{2}\sigma[L])^5} [(L_{i+1} - M[L])^5] + \dots$$

где

$$L_i = \frac{1}{k} [(k-i+1)M[L] + (i-1)(L_n + 3\sigma[L]) - 3k\sigma[L]],$$

$$L_{i+1} = \frac{1}{k} [(k-i)M[L] + i(L_n + 3\sigma[L]) - 3k\sigma[L]],$$

$$\bar{L}_i = \frac{1}{2k} \{ [2(k-i+1)] + (2i-1)(L_n + 3\sigma[L]) - 6k\sigma[L] \}.$$

Для определения количества отходов, характеризуемых величиной области  $B$ , диапазон  $(L_n, L_2)$  разбивается на  $m$  частичных интервалов длиной

$$I_L = \frac{M[L] + 3\sigma[L] - L_n}{m}$$

При необходимости выполнения единичного анализа производства расчет вероятного количества отходов удобно выполнять, используя таблицы для интегральных форм нормального распределения.

С учетом выражений для границ и средних значений частичных интервалов суммарная ожидаемая длина обрезки может быть найдена по приближенной формуле:

$$L_0 = \frac{1}{2\sqrt{\pi}k} \sum_{i=1}^{k-1} \{[2(k-i) + 1]M[L] + [2n(i-k) + 2k - n]L_M + 3[2(i-k) - 1]\sigma[L]\} \cdot$$

$$\cdot \frac{nL_M - M[L] + 3\sigma[L]}{\sqrt{2k\sigma[L]}} + \frac{1}{2\sqrt{\pi}m} \sum_{i=1}^{m-1} \{2n(r-i)L_M + (2i-1)M[L] + 3(2i-1)\sigma[L]\} \cdot$$

$$\cdot \frac{M[L] + 3\sigma[L] - nL_M}{\sqrt{2m\sigma[L]}}$$

Выразив вероятность  $P(L_i < L < L_{i+1})$  через нормальную функцию распределения, получим:

$$L_A = \sum_{i=1}^k [\bar{L}_i - (n-1)L_M] \left[ \Phi_1^* \left( \frac{L_{i+1} - M[L]}{\sigma[L]} \right) - \Phi_2^* \left( \frac{L_i - M[L]}{\sigma[L]} \right) \right]$$

Аналогично находится количество обрезки полос длиной от  $L_H$  до  $L_2$ :

$$L_B = \sum_{j=1}^k [\bar{L}_j - nL_M] \left[ \Phi_1^* \left( \frac{L_{j+1} - M[L]}{\sigma[L]} \right) - \Phi_2^* \left( \frac{L_j - M[L]}{\sigma[L]} \right) \right],$$

где  $\bar{L}_j$  - среднее значение длины в  $j$ -том интервале.

Суммарная ожидаемая длина обрезки:

$$L_0 = L_A + L_B$$

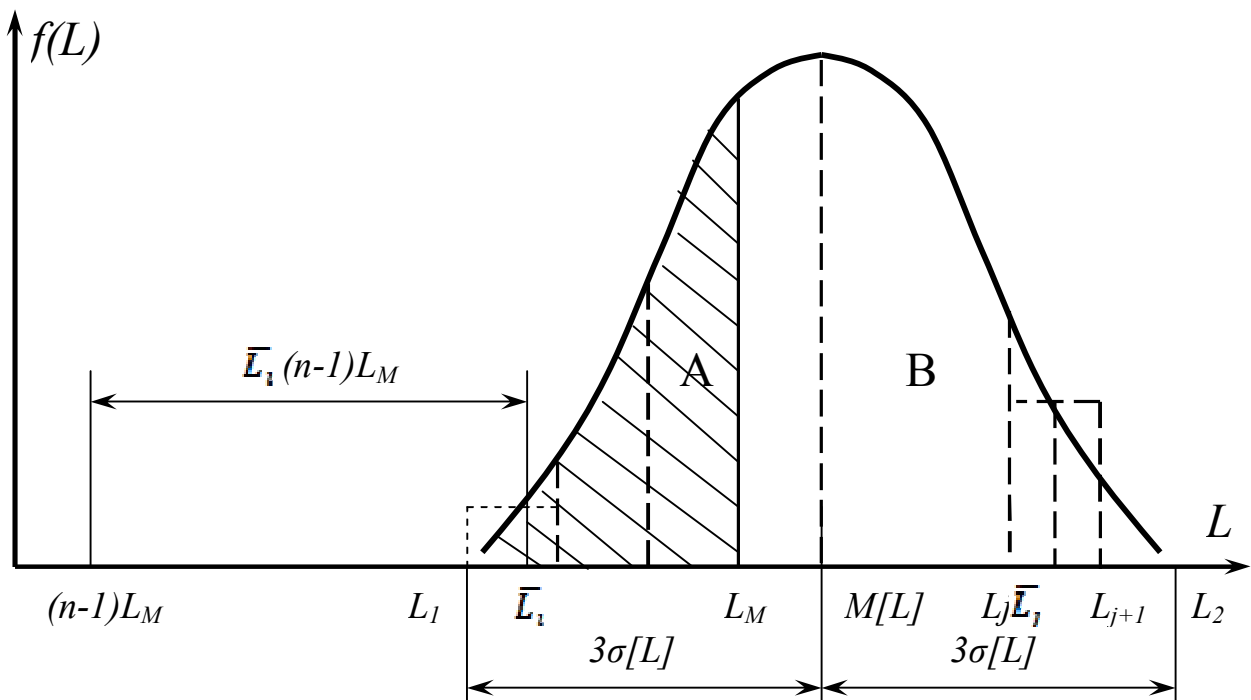


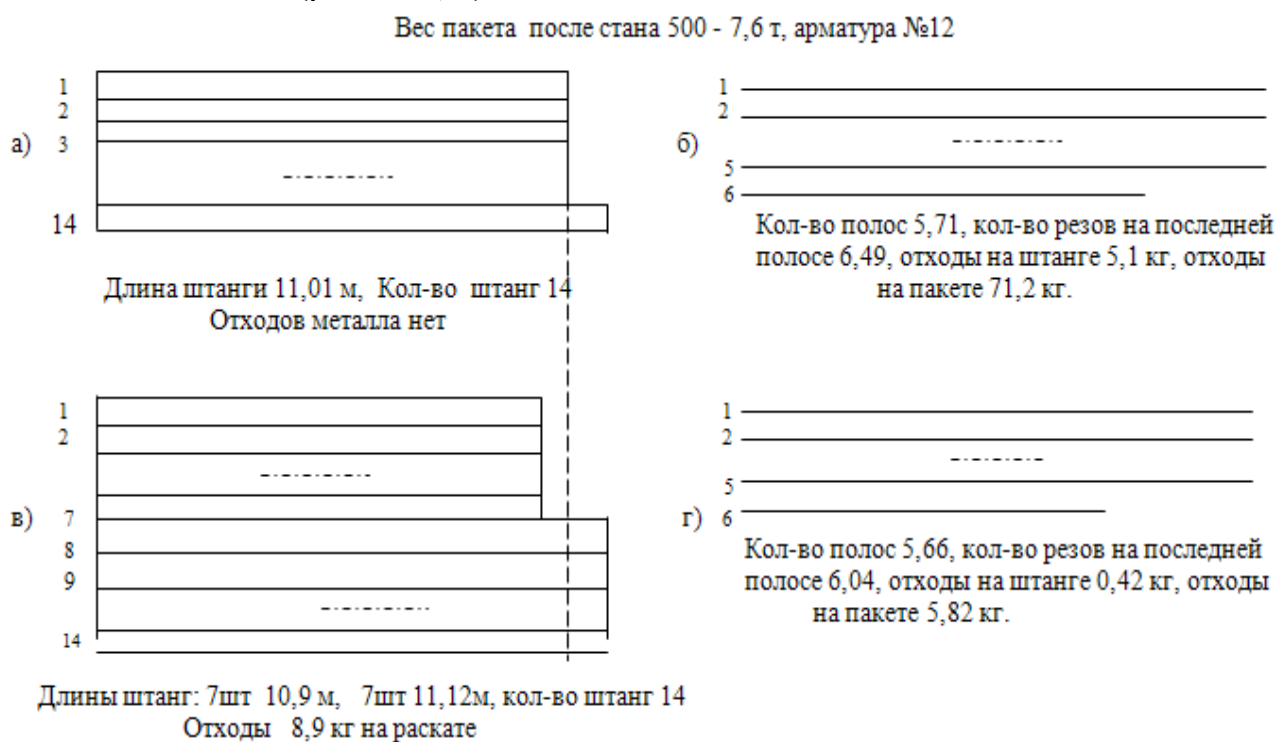
Рис. 2. Схема образования отходов при раскрое полосы на мерные части

Масса обрезки  $g_0$  может быть ориентировочно определена как  $g_{\text{пм}}L_0$ , а стоимость должна подсчитываться дифференцировано в зависимости от длины.

Приведенный способ расчета позволяет оценить рациональность существующего порядка раскроя путем сравнения ожидаемого количества обрезки и потерь производства в стоимостном выражении при различных комбинациях значений  $M[L]$  и  $\sigma[L]$ .

В настоящее время существующие безотходные системы раскроя заготовки на ножницах стана 500 обеспечивают выдачу пакетов с длинами штанг в пределах 10,5- 11,7 метров. Кроме того, разброс длин штанг в пакете достигает 15 см. Подобный раскрой приводит к образованию немерных длин при раскрое готовой продукции на МС станах СПЦ1. Как показывают расчеты, количество отходов по этой причине составляет порядка 1,3 % годового выпуска продукции (рис.3. а, б).

В случае применения системы сквозного раскроя, отходы металла значительно снижаются (рис. 3. в, г).



*Рис. 3. Результаты расчета существующего и сквозного раскроя:*  
а) существующий раскрой на блюминге 1; б) существующий раскрой на МС стане; в) сквозной раскрой на блюминге 1; г) сквозной раскрой на МС стане

#### Список литературы

1. Чекмарев А.П. Точная прокатка. – М.: Гостехиздат УССР, 1952. – 186 с.
2. Губарь Е.Н., Жилиев К.И., Гордневский В.И. Производство и сдача проката по теоретическому весу. – К.: Техніка, 1974. – 252 с.
3. Чернышов А.Н., Ефимов В.Б. Вероятностный метод расчета оптимальных параметров заготовок. –Д.: Металлургия, 1970. – 272 с.
4. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат. л-ры., 1988. – 480 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 10.10.2012*