

получать шестигранные и круглые профили разных размеров в одних и тех же комплектах валков, кроме валков чистовых клетей. Замена волочения прокаткой обеспечивает более высокую производительность, снижение энергетических, материальных и трудовых затрат.

### Список литературы

1. Гинзбург П.С. Прокатка специальных сортов стали. — М.: Металлургиздат, 1933.
2. Победин И.С., Байраков В.И., Дрозд В.Г. Исследование непрерывной холодной прокатки тонкой проволоки на 12-клетевом стане // Прокатные станы. Исследование, расчет конструирование и освоение. — М.: Машгиз, 1956.
3. Properzi G. Continuos Properzi or ContinuosCompani // Transfil Europe, 1993.
4. Гладков Г.А., Долженков Ф.Е., Прищенко Л.Н. Прокатка особоточных профилей. — М.: Металлургия, 1979.

© Долженков Ф.Е., 2003

КАШАЕВ В.В. (ДОННТУ)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ КАЛИБРОВКИ МЕЛКОСОРТНЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНОВ

*В данной работе сделана попытка, дать математическое выражение основным показателям, характеризующим рациональность и экономичность схемы калибровки. Для решения задачи с помощью ЭВМ разработана блок-схема алгоритма, составлена и отлажена программа.*

Вопросы математической формализации рациональности технологического процесса прокатки являются актуальными, позволяющими создать основы для анализа и динамического управления процессом. Учитывая, что модернизация оборудования и технологии является быстрым и экономичным путем реализации новых идей, необходимость в алгоритме оценки рациональных объемов и направлений такой работы очевидна. Не менее значимым и полезным мог бы оказаться алгоритм экспертной оценки эффективности работы сортовых станов в сфере консалтинговых услуг.

Расчет режима прокатки является одной из сложнейших оптимизационных задач технологической подготовки. Сложность задачи объясняется необходимостью учета большого количества технологических ограничений, применения процедур расчета энергосиловых параметров прокатки, использования экономической оценки режима. Специфика стана накладывает существенный отпечаток на математическую формализацию задачи расчета режима прокатки и алгоритм ее решения. Однако можно выделить некоторые единые принципы. Рассчитанный режим прокатки является основой при составлении технологической карты прокатки. Ее составляющие делят на четыре группы. В первую группу включают параметры режима деформаций металла, вторую — настроечные характеристики клетей, третью — ГОСТы (ДСТУ) и допуски на профиль, четвертую — технико-экономические показатели режима прокатки. Кроме того, особо выделяются группы марок стали и диапазоны длины исходной заготовки, которые существенно влияют на показатели режима обработки проката.

Из выше сказанного следует, что решение задач, по оценке технико-экономической рациональности режимов прокатки, на том или ином типе стана, требует индивидуального подхода. Поэтому в литературе встречаются попытки оптимизации, например, сортаментных рядов проката [1] с учетом экономических элементов,

однако даже в сортовой прокатке эта задача решена только для профильного сортамента и никак не оценивает марочный сортament и другие аспекты прокатки. В условиях меняющихся экономических отношений и конъюнктуры рынка традиционная специализация сортовых и проволочных станов зачастую теряет свои преимущества и требует иных подходов в оценке технико-экономических показателей их работы, а, следовательно, и рациональности модернизаций.

На проволочных станах менее разнообразный сортament, чем на сортовых. Поэтому рационализация общих схем калибровки проволочных станов производилась на основе специализации, полного использования длины заготовки, а также с учетом обеспечения качественных показателей: точности геометрических размеров и величины обезуглероженного слоя, наиболее трудно выполнимых при производстве катанки. Исходя из изложенного, критерии рациональности общей схемы калибровки проволочного стана  $P_{psc}$  можно разбить на четыре показателя:

- универсальности общей схемы калибровки  $\Pi_y$ ;
- производительности  $\Pi_n$ ;
- показатель качества  $\Pi_k$ ;
- формоизменения  $f_\lambda$ .

Показатель рациональности схемы калибровки  $P_{psc}$  можно представить в следующем виде:

$$P_{psc} = (\Pi_y + \Pi_k + f_\lambda) \cdot \Pi_n \cdot 0,1, \quad (1)$$

где 0,1 — коэффициент размерности;

$$\Pi_y = \Pi_p + \Pi_{mc}, \quad (2)$$

где  $\Pi_p$  — показатель рациональности схемы прокатки;  $\Pi_{mc}$  — показатель марочного состава.

$$\Pi_p = (n_1/K_1) + (n_2/K_2) + (n_3/K_3) + \dots + (n_i/K_i), \quad (3)$$

где  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$  — число прокатываемых профилей по группа (1 гр. —  $\varnothing$  5–6, 5 мм; 2 гр. —  $\varnothing$  7–9 мм и т.д.);  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_i$  — количество калибров по группам:

$$\begin{cases} K_2 = K_1 - K_{n2} + K_{m2}, \\ K_3 = K_1 - K_{n3} + K_{m3}, \\ \dots \\ K_i = K_1 - K_{ni} + K_{mi} \end{cases} \quad (4)$$

где  $K_{n2}, K_{n3}$  — количество калибров по 1 гр., не применяемых во 2, 3 и других группах;  $K_{m2}, K_{m3}$  — количество вновь используемых во 2, 3 и т.д. группах;

$$\Pi_{mc} = (\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3) / \Sigma n, \quad (5)$$

где  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$  — количество профилей, относящихся к каждой марочной группе (для 1 группы — С — 0,4%; для второй — С — 0,45–0,65%; для третьей — С — 0,65–0,9%);  $\Sigma n$  — суммарное количество профилей, прокатываемых на стане.

$$\Pi_k = \Pi_m + \Pi_{об}, \quad (6)$$

где  $\Pi_m$  — показатель точности;  $\Pi_{об}$  — показатель обезуглероженного слоя.

$$\Pi_m = a_1/a_2 + v_1/v_2, \quad (7)$$

где  $a_1$  — суммарный плюсовой и минусовой допуск по ГОСТу;  $a_2$  — суммарные фактические отклонения от номинального диаметра;  $b_1$  — допуск по овальности по ГОСТу;  $b_2$  — фактические отклонения по овальности.

$$P_{об} = n_0 \cdot \sigma_1 / \sum \sigma, \quad (8)$$

где  $n_0$  — количество контрольных проб;  $\sigma_1$  — величина обезуглероженного слоя по ГОСТу, %;  $\sum \sigma$  — суммарный обезуглероженный слой на контрольных пробах (максимальные значения), %.

$$P_{\eta} = K_{из} + K_v, \quad (9)$$

где  $K_{из}$  — коэффициент использования параметров исходной заготовки;  $K_v$  — коэффициент использования технически возможной скорости прокатки.

$$K_{из} = F_{ф} \cdot L_{ф} / F_{макс} \cdot L_{макс}, \quad (10)$$

где  $F_{ф}$ ,  $L_{макс}$  — фактическая и технически возможная площади поперечного сечения;  $L_{ф}$ ,  $L_{макс}$  — фактическая и технически возможная длина заготовки.

$$K_v = F_v \cdot V / F_m \cdot V_{макс}, \quad (11)$$

где  $V$ ,  $V_{макс}$  — фактическая и технически возможная скорости прокатки в последней клетки.

$$f_{\lambda} = 1 - \lambda \cdot \Delta S_{\beta} / \Delta S_v, \quad (12)$$

где  $\Delta S_{\beta}$  и  $\Delta S_v$  — площади, соответствующие уширению и высотной деформации;  $\lambda$  — коэффициент вытяжки.

В предельных случаях будет наблюдать следующее [2]:

- если  $\Delta S_{\beta} \rightarrow 0$ , тогда  $f_{\lambda} \rightarrow 1$  (нет уширения);
- если  $\Delta S_{\beta} \rightarrow \Delta S_v$ , тогда  $f_{\lambda} \rightarrow 0$  (нет вытяжки).

Для решения поставленной задачи с помощью ЭВМ была составлена и отлажена программа на алгоритмическом языке программирования Visual Basic 6.0.

Программа состоит из двух подпрограмм: функция InitNewData() и процедура Consta\_Click — каждая из которых отвечает за ввод новых данных для расчета. Во время ввода данных функция запрашивает количество профилей прокатываемых на стане, число групп и количество калибров в 1-й группе. Далее необходимо ввести число прокатываемых профилей по  $i$ -й группе, количество калибров по 1-й группе не применяемых в  $i$ -х группах и количество вновь используемых калибров в  $i$ -х группах. Для правильного расчета программа контролирует ввод данных т.е. проверяет правильный ввод цифровых данных. Затем вводится количество профилей относящихся к  $i$ -й марочной группе, суммарные фактические отклонения от номинального диаметра, фактическое отклонение по овальности, суммарный обезуглероженный слой на контрольных пробах (максимальное значение в процентах), количество контрольных проб, а также: фактически возможная площадь поперечного сечения, технически возможная площадь поперечного сечения, фактически возможная длина заготовки, технически возможная длина заготовки, фактическая площадь поперечного сечения, номинальная площадь поперечного сечения, фактически возможная скорость прокатки в последней клетки, технически возможная скорость прокатки в последней клетки.

Процедура Consta\_Click отвечает за ввод констант для расчета. В начале расчета каждой переменной присвоено значение по умолчанию. В процессе ввода необходимо ввести следующие величины: суммарный плюсовой и минусовой допуск по ГОСТ (ДСТУ), допуск по овальности по ГОСТ (ДСТУ), величина обезуглероженного слоя по ГОСТ (ДСТУ) и коэффициент формоизменения.

Выходной документ, после вычисления формирует результаты расчета в следующем порядке: показатель рациональности общей схемы калибровки проволочного стана, универсальность общей схемы калибровки, производительность стана и показатель качества проката.

Так как эта задача относится к линейному программированию, то расчет ведется параллельно вводу данных, а алгоритм решения данной задачи представлен на рис.1.

Результаты расчетов рациональности общих схем калибровок ряда станов приведены в таблице 1.

**Табл. 1.** Результаты расчета показателей рациональности общих схем калибровки проволочных станов

Стан, завод	$P_y$			$P_k$			$P_n$			$f_\lambda$	$P_{рск}$
	$P_p$	$P_{мс}$	$\Sigma$	$P_m$	$P_{об}$	$\Sigma$	$K_{из}$	$K_y$	$\Sigma$		
Стан 150 Белорецкого МК	0,15	2,4	2,55	2,7	0,9	3,6	0,94	1,0	1,94	0,8	1,348
Стан 150 Череповец- кого МК	0,35	1,56	1,91	1,38	0,7	2,08	0,94	0,9	1,84	0,85	0,89
Стан 250-3 Криворожс- кого МК	0,27	1,33	1,6	1,4	0,75	2,15	0,92	0,8	1,72	0,8	0,78
Стан 250 Зап.-Сиб. МК	0,26	1,4	1,66	1,39	0,74	2,14	0,92	0,82	1,74	0,75	0,79
Стан 150 Макеевского МК	0,3	1,35	1,65	1,8	0,76	2,66	0,92	1,0	1,92	0,8	0,98

Анализ работы станов по данным в таблице 1 показывает, что чем больше величина  $P_{рск}$ , тем выше показатель рациональности схемы калибровки. Величина  $P_{рск} \geq 1.0$  считается близкой к оптимальной.

Таким образом, рациональными мероприятиями позволяющими улучшить работу сорто-проволочных станов оказались, как традиционные: повышение точности, скорости прокатки, универсальности калибровки, специализации станов, так и не традиционные продиктованные экономическими реалиями. Сравнительный анализ показателей работы пяти станов позволяет сделать заключение, что когда резервы улучшения традиционных показателей исчерпаны, то расширение марочного сортамента, и использование систем калибров с высоким к.п.д. деформации может существенно улучшить показатель  $P_{рск}$ , а следовательно, конкурентоспособность агрегата и его продукции. Полученные результаты и явились теми ключевыми факторами, от которых зависит четкий производственный профиль и успех любого предприятия и в частности стана 150 АОО «ММК», для которого этот анализ и проводится. Поэтому в заводском плане научно-исследовательских работ на текущий год предусматривается разработка режима нагрева и прокатки заготовок из легированных сталей 07Г1НМА, 08Г1НМА, нержавеющей сталей и ШХ-15.

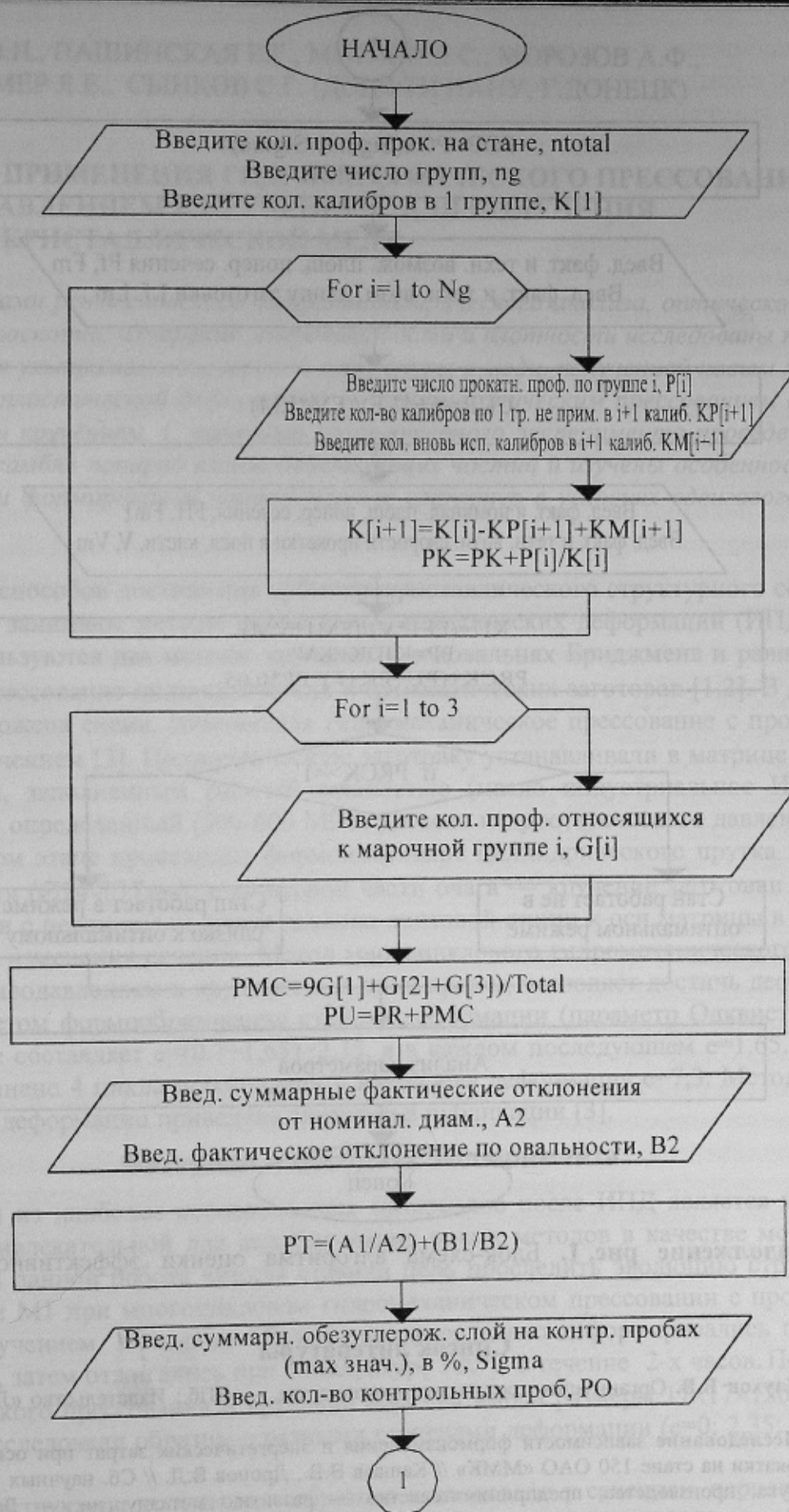
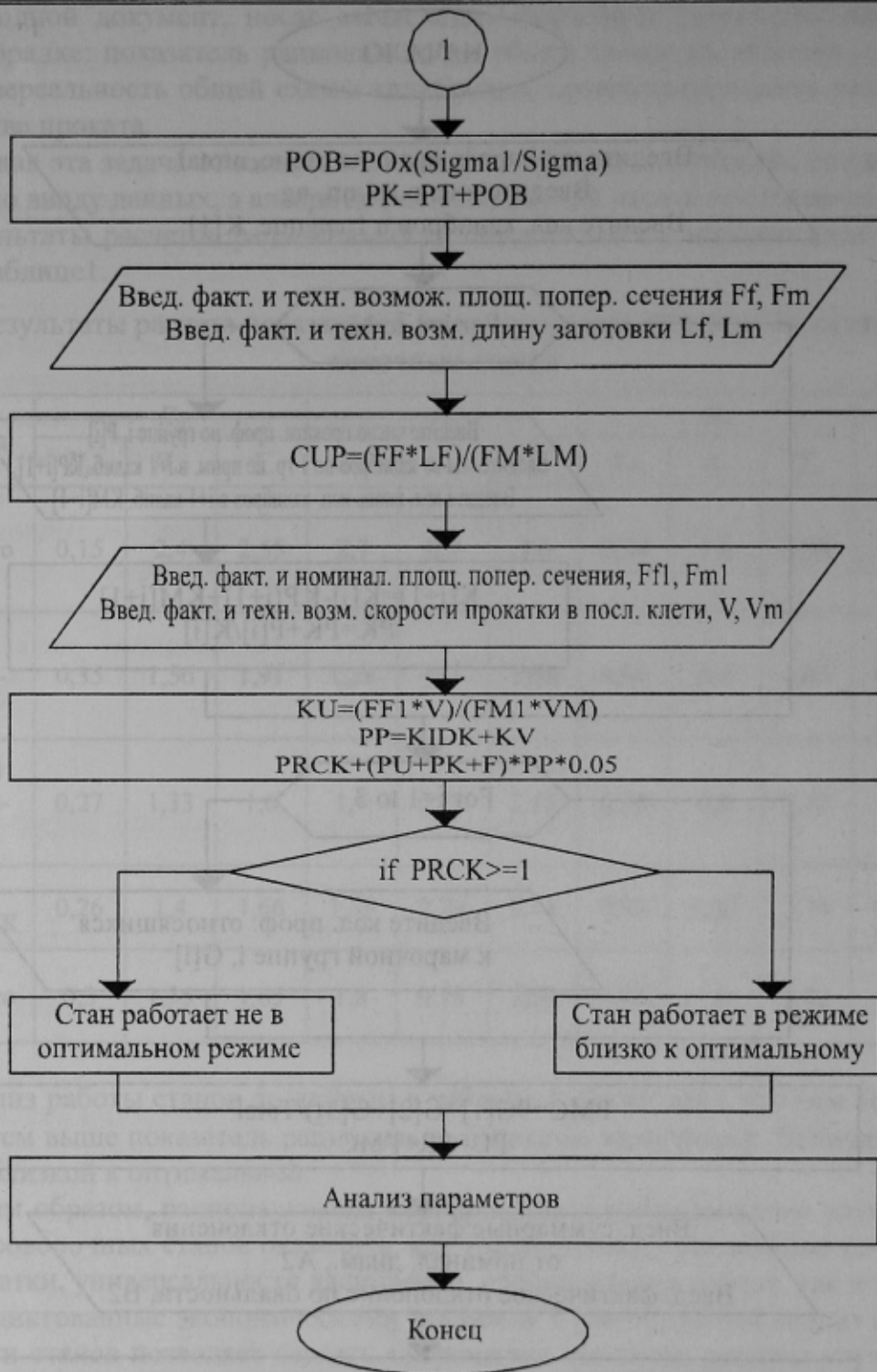


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки эффективности систем калибров



Продолжение рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки эффективности систем калибров

### Список литературы

1. Глухов В.В. Организация прокатного производства. — СПб.: Издательство «Лань», 2001 — 368 с.
2. Исследование зависимости формоизменения и энергетических затрат при освоении нового способа прокатки на стане 150 ОАО «ММК» // Кашаев В.В., Дронов В.Л. // Сб. научных трудов конференции. Наука, производство, предпринимательство — развитию металлургии. — Донецк: «Лико», 1998. — 300 с.