

УДК 621.771.2.04.003.12

**Н. И. Подобедов, В. В. Вернев, В. В. Коренной****ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА «КОИЛБОКС»  
НА СТАНЕ 1680***Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины*

Целью работы является проведение сравнительного анализа результатов прокатки горячекатаных полос в чистовой группе клетей стана 1680 полос с применением и без применения промежуточного перемоточного устройства (ППУ). Приведен сравнительный анализ результатов измерений момента и продольной толщины при прокатке в чистовой группе клетей. Приведено распределению крутящих моментов в клетях вдоль длины полосы. Показано, что прокатке полос с ППУ среднеквадратическое отклонение момента заметно меньше, чем при прокатке без ППУ. Уровень динамических нагрузок и коэффициента динамичности момента сил упругости при прокатке полос с ППУ и без ППУ практически не изменился. Показано, что при прокатке без ППУ на готовой полосе остается след от температурного клина в виде клина толщины. При прокатке с ППУ толщина полосы по ее длине становится более равномерной. При прокатке без ППУ на готовой полосе остается след от температурного клина в виде клина толщины. При прокатке с ППУ толщина полосы по ее длине становится более равномерной. В целом сравнение по среднему моменту вдоль полос, среднеквадратическому отклонению, коэффициенту вариации момента и отклонению толщины показывает преимущества прокатки с ППУ.

**Ключевые слова:** широкополосный стан, горячая прокатка, перемоточное устройство, момент, коэффициент вариации, толщина полосы

**Состояние вопроса.** На широкополосном стане 1680 успешно работает промежуточное перемоточное устройство (ППУ) типа «Коилбокс» [Освоение технологии горячей прокатки полос на стане 1680 с промежуточным перематывающим устройстве «Коилбокс» / А.Ю. Путноки, О.В. Симененко, С.В. Мацко и [др.] // Сталь. – 2008. - №10. – С.39-41]. Технологические преимущества применения подобных систем на станах известны. Вместе с тем не разработан системный подход к их выявлению и анализу.

**Целью работы** является проведение сравнительного анализа результатов прокатки горячекатаных полос в чистовой группе клетей стана 1680 полос с применением и без применения промежуточного перемоточного устройства (ППУ). На стане выполнили опытно-промышленную прокатку партий полос различного сорта размера. При этом часть одной партии полос прокатывали без ППУ, другую часть – с ППУ. В чистовых клетях велись одновременные измерения момента и частоты вращения двигателей и механического момента на промежуточных валах. Это позволило сравнить энергетические затраты. Для этих же партий измеряли текущую толщину готовых полос на выходе

из последней клетки 10. Сравнение результатов прокаток вели по ряду показателей, для выявления которых разработали специальные программы обработки текущих измерений по каждой полосе. Например, рассчитывали гистограммы распределения момента по длине полосы, для каждой определяли среднее значение момента  $m$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  и коэффициент вариации  $v = \sigma / m$ .

### **Изложение основных результатов исследования.**

1. По распределению крутящих моментов в клетях вдоль длины полосы. Общий вид кривых моментов сил упругости и двигателей (рис.1) показывает явное увеличение момента в клетях 5...9 к концу прокатки полосы без применения ППУ и его равномерное распределение вдоль полосы при прокатке с применением ППУ. В начале прокатки полос без ППУ имеется короткий участок с уменьшением момента. Он обусловлен переходным процессом: пиковым значением момента (как сил упругости, так и двигателя, при этом первый больше второго), и моментом свободной прокатки, который затем уменьшается на некоторую величину,  $\Delta M_{\text{нат}}$ , обусловленную действием натяжения при захвате полосы следующей клетью. Этот участок кратковременный, он равен времени свободной прокатки полосы между двумя смежными клетями и характерен для обеих схем прокатки. К концу прокатки момент увеличивается.

2. Известно, что отмеченное изменение момента характерно для традиционной схемы прокатки на всех ШПС и объясняется *температурным клином раската*. В связи с этим для опытных прокаток без ППУ для каждой полосы определили разность между максимальным и наименьшим значением момента  $\Delta M$  развиваемого двигателем. Анализ изменения величины  $\Delta M$  (а также относительной величины  $M_{\text{max}}/M_{\text{min}}$ ) по клетям показывает, что ее абсолютное значение (как и  $M_{\text{max}}/M_{\text{min}}$ ) от клетки к клетю при прокатке одной полосы в среднем остается постоянной. Например, для одной из полос  $6 \times 1500$  мм  $\Delta M_5=13,4$  (1,12),  $\Delta M_6=15$  (1,15),  $\Delta M_7=14,4$  (1,12),  $\Delta M_8=17$  (1,16),  $\Delta M_9=14,1$  (1,20) кН·м; для полосы  $2,7 \times 1220$  мм  $\Delta M_5=12$  (1,14),  $\Delta M_6=12$  (1,11),  $\Delta M_7=10$  (1,11),  $\Delta M_8=12$  (1,11),  $\Delta M_9=5$  (1,07) кН·м. Приведенные данные подтверждают постоянство источника возмущения, проходящего через все клетки - «температурным клином» (рис.2).

3. Сравнение по интегралу момента сил упругости и двигателя при прокатке одной части плавки с ППУ и другой без ППУ. Это можно принять в качестве аналога сравнения затраченной мощности на прокатку каждой полосы. Поскольку по длине полосы имеют определенный разброс и время их прокатки также различается, интеграл для каждой полосы вычисляли при постоянном времени прокатки, взятом для наиболее короткой полосы. Сравнение интегралов показало, что в клетях 5–9 потребляемая мощность прокатки при применении ППУ на 1,2-9% меньше, чем без ППУ (в среднем по клетям 5-9 на 4% меньше).

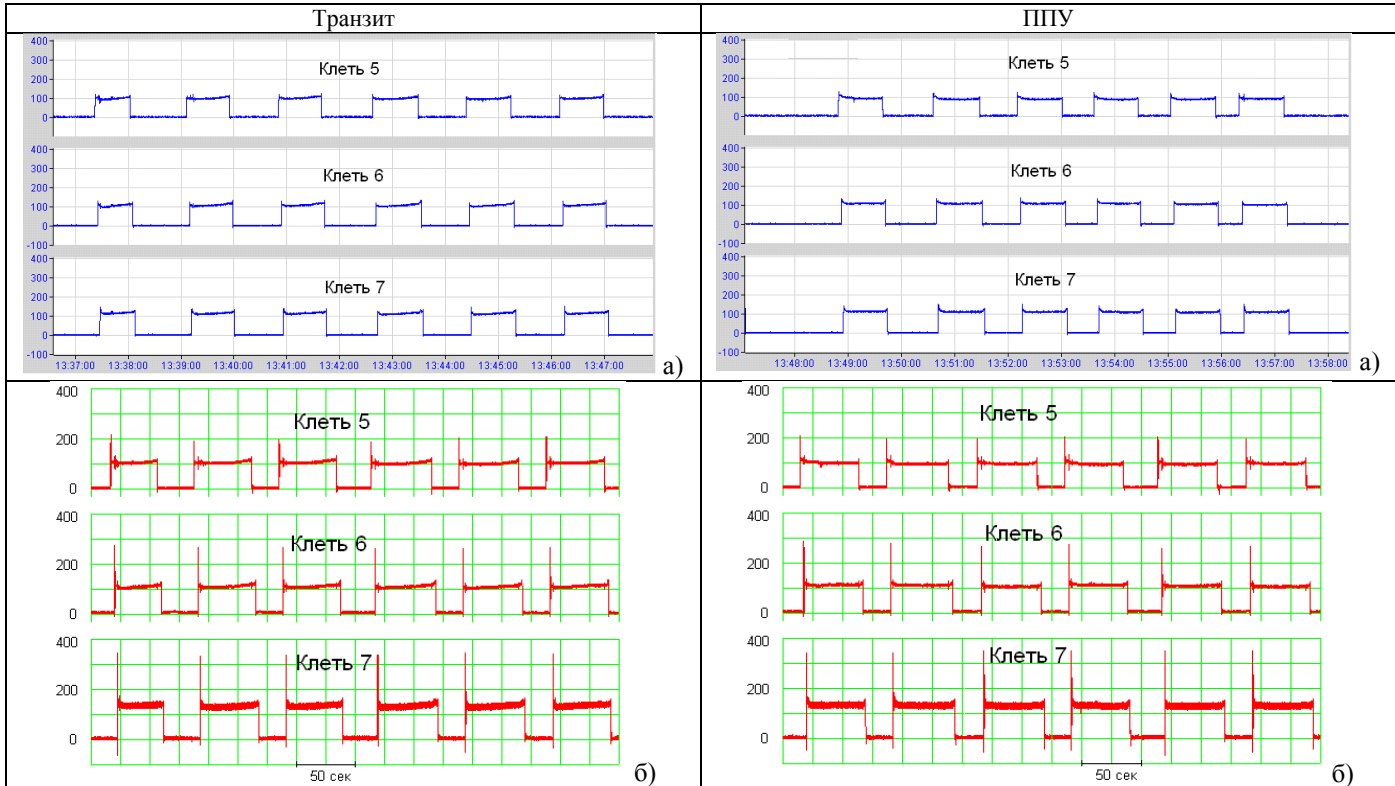
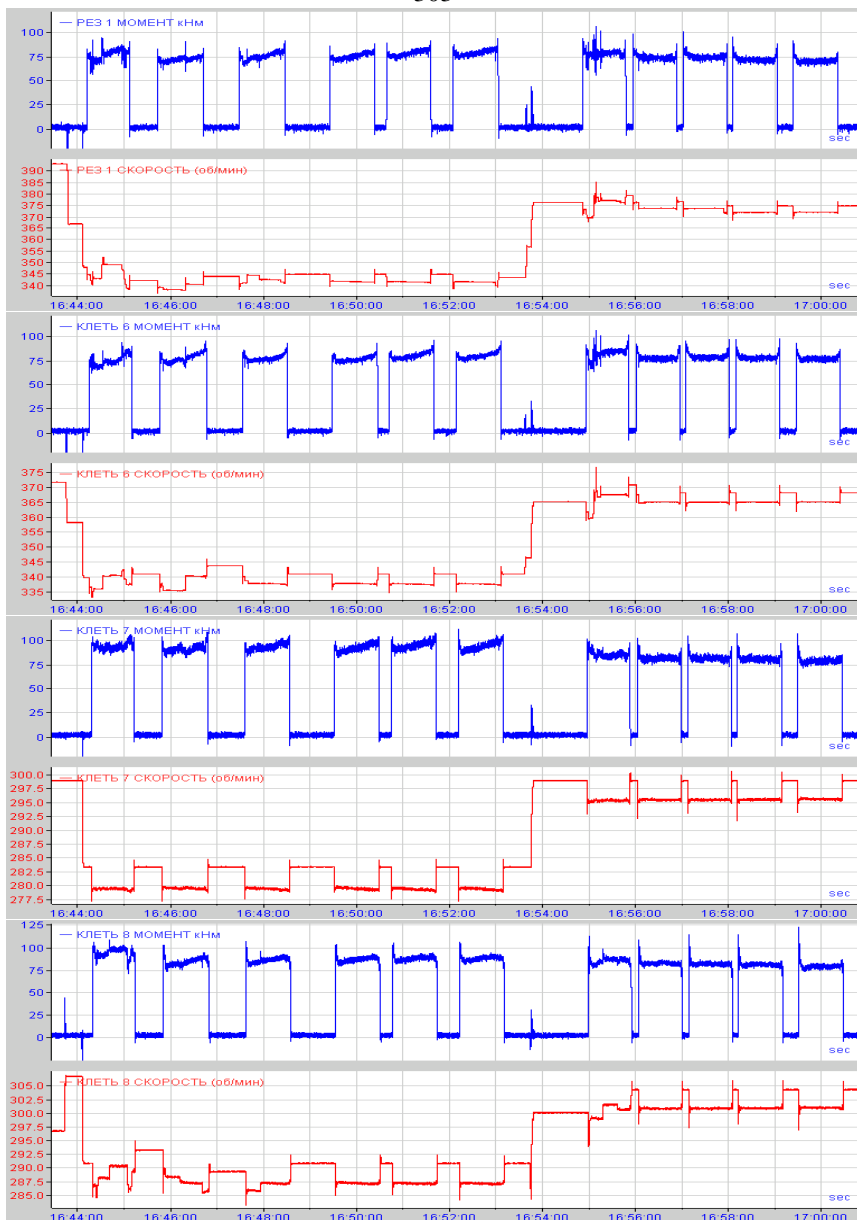


Рисунок 1 – Одновременное измерение электромагнитного момента двигателя (а) и момента сил упругости на промежуточном валу (б) клетей 5, 6, 7 при проведении опыта №1



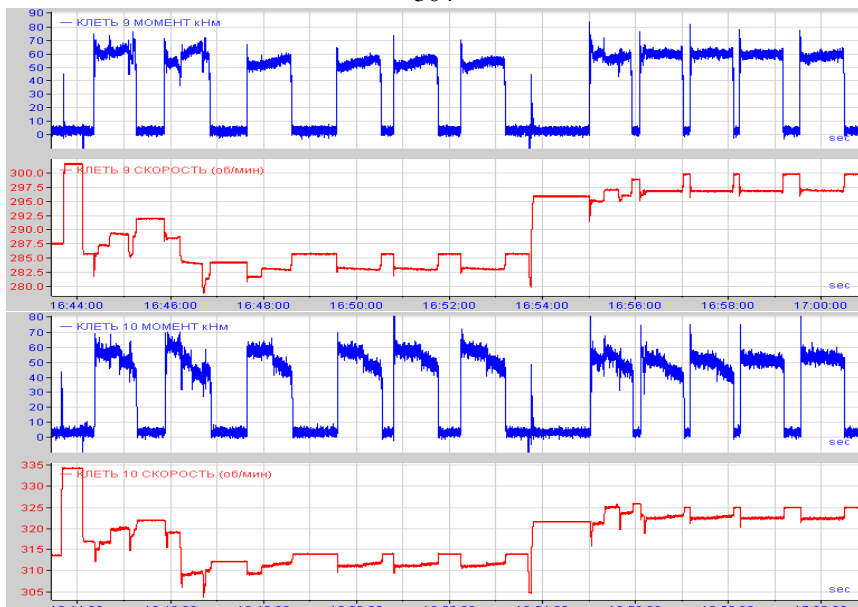


Рисунок 2 – Момент и частота вращения двигателя во всех клетях чистой группы в опыте №2

4. Сравнение по средней величине момента показало, что на такое же значение (в среднем 4% по всем клетям 5–9) уменьшается статический момент при прокатке с ППУ. Следует отметить, что при прокатке с ППУ полос 2,7x1220 мм в одном из опытов среднее значение момента и интеграла в клетях 5 и 7 оказались на 3 и 4% больше, чем при прокатке без ППУ. Это можно объяснить тем, что перед прокаткой части плавки с ППУ был скорректирован скоростной режим во всех клетях. За счет перераспределения межклетевых натяжений в клетях 5 и 7 увеличилось обжатие, что привело к увеличению среднего момента и интеграла. По увеличению момента в клетке 7, можно заключить, что также было незначительно увеличено обжатие при прокатке всех полос (особенно 2-й, 4-й и 7-й). Как видим, с учетом этого обстоятельства преимущество прокатки полос с ППУ явное.

5. Сравнение по среднеквадратическому отклонению момента вдоль полосы.

Практически во всех клетях при прокатке полос с ППУ среднеквадратическое отклонение момента заметно меньше, чем при прокатке без ППУ. По клетям (за исключением 5 случаев)  $\sigma_m$  уменьшается от 2 до 30%, в среднем более 10%. Это существенное значение. Оно указывает на то, что находясь в рулоне происходит выравнивание

температуры вдоль полосы, при этом не только температурного клина, но и включая локальные «темные пятна».

Исключение составляет клеть 9, где в среднем эффект обратный (-28%). Анализ показал, что при прокатке двух первых полос с ППУ производилась коррекция скоростного режима (следовательно и обжатия: в клетях 8 и 9 средний момент для этих полос наибольший. Если учесть это обстоятельство, т.е. определить момент по следующим пяти полосам, то в клетях 8 и 9 фактическое уменьшение среднеквадратического отклонения момента составит ~2%.

6. *Сравнение коэффициента вариации момента*  $v_m = \sigma_m / m$  по каждой полосе и его среднего значения по массивам (в одной плавке с ППУ и без ППУ) также показывает на более стабильную прокатку полос с применением ППУ:  $v_m$  уменьшается на 3...7%.

7. *Сравнение по коэффициенту динамичности и максимальному моменту сил упругости.*

Уровень динамических нагрузок и коэффициента динамичности момента сил упругости при прокатке полос с ППУ и без ППУ практически не изменился. Это объясняется тем, что изменение и разброс температуры на переднем конце полосы влияют на динамические нагрузки существенно меньше, чем угловые зазоры и их разброс вокруг среднего значения. Кроме изложенного корректного анализа и сравнения, рассмотрели массивы записей моментов при прокатке партии полос близкого сорта размера с ППУ и без ППУ. Сравнение по среднему моменту оказалось затруднительным поскольку фактическая настройка клетей во всех случаях несколько отличается от заданной по технологической инструкции. Однако средние квадратические отклонения и коэффициенты вариации для полос, прокатанных с ППУ, в целом оказываются на 5 – 10% меньше, чем для полос, прокатанных без ППУ.

8. *Сравнение по продольной разнотолщинности полос за клетью 10.*

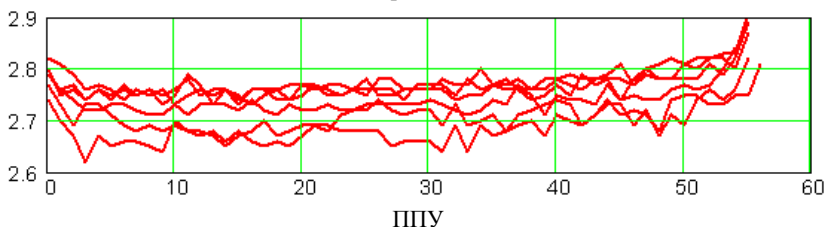
Качественный анализ записей толщины полосы во всех 4-х опытах показал в целом, что при прокатке без ППУ на готовой полосе остается след от температурного клина в виде клина толщины. При прокатке с ППУ толщина полосы по ее длине становится более равномерной (рис.3).

Следует отметить, что корректировки скоростного режима во время прокатки полосы или в паузе между полосами сказываются на готовой толщине полосы. Например, как уже отмечалось, при прокатке первых двух полос в опыте №3 (6,0x1500 мм) изменялась скорость прокатки, между клетями 8–9 и 9–10 увеличилось натяжение, особенно это заметно по уменьшающемуся моменту в клетях 8 и 9 для второй полосы.

Это сразу же отразилось на изменении продольной толщины 1-й и 2-й полосы. То же самое можно отметить по полосе №3 (без ППУ), где в клетях 8–10 во время прокатки изменяли скорость. В итоге на

естественный клин наложилось возмущение по скорости ввиду чего на полосе №3 клин толщины заметно усилился.

Транзит



ППУ

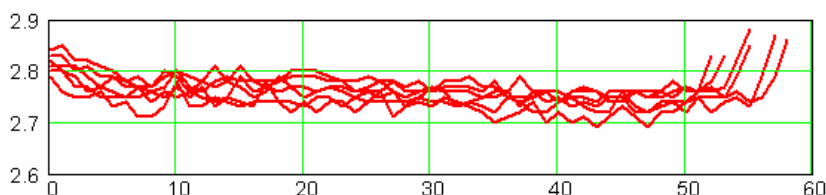


Рисунок 3 – Наложение записей продольной толщины за клетью 10 в опыте №3

Определили, что клиновидность готовой полосы из-за температурного клина при прокатке без ППУ составляет 0,08–0,12 мм (а в случае изменения скорости прокатки 0,2 мм, полоса №3). При прокатке с ППУ клиновидность толщины полосы имеет обратное направление, однако она в среднем в 2 раза меньше и составляет 0,05 мм (для единичных полос 0,1 мм).

9. *Выполнили сравнительный анализ изменения толщины полосы по длине путем наложения нескольких записей толщины.* Образованные массивы кривых достаточно наглядны для качественной и количественной оценок. По ним видна повторяемость процесса при прокатке одной партии полос.

При прокатке без ППУ клиновой передней участок ( $\Delta h_{cp} = 0,06$  мм) в среднем в 1,3 раза короче, чем с ППУ ( $\Delta h_{cp} = 0,08$  мм), где  $\Delta h_{cp}$  – средний перепад толщины.

При прокатке с ППУ толщина среднего участка меньше, чем без ППУ. Т.е. прокатка с ППУ соответствует как бы прокатке с минусовым допуском.

Длина среднего участка (с ППУ) увеличилась в среднем на 30-40%.

Длина клина на хвостовом участке полосы уменьшилась в среднем в 4 раза, а клина толщины в 1,8 раза (с 0,09 мм до 0,05 мм).

Предыдущий анализ относится к измерениям, полученным при прокатке одного и того же сорторазмера с ППУ и без ППУ (партии полос делили пополам). Поэтому выполненное сравнение вполне корректно и

позволяет сделать следующие выводы. При прокатке партии полос с применением ППУ установившийся процесс прокатки по длине полосы отличается существенно большей стабильностью, чем при прокатке без ППУ, при этом установлено уменьшение:

- на 1 – 11% (в зависимости от клетки) среднего момента прокатки по длине полосы;
- на 7 – 12% среднеквадратического отклонения момента;
- на 5 – 15% коэффициента вариации момента;
- на 7 – 13% интегрального значения момента, взятого за постоянный промежуток времени.

Кроме того, в среднем на 35–40% увеличилась длина полосы, на которой отсутствует утолщение за счет температурного клина.

**Выводы.** В целом сравнение по среднему моменту вдоль полос, среднеквадратическому отклонению, коэффициенту вариации момента и отклонению толщины показывает преимущества прокатки с ППУ. Таким образом, установлено явное преимущество применения ППУ перед чистовой группой клетей.

*М. І. Подобсдов, В. В. Вереньов, В. В. Коренной*

#### **Оцінка ефективності пристрою «Койлбокс» на стані 1680**

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу результатів прокатки гарячекатаних смуг в чистовій групі клітей стану 1680 смуг із застосуванням і без застосування проміжного перемотувального пристрою (ППУ). Наведено порівняльний аналіз результатів вимірювань моменту і поздовжньої товщини при прокатці в чистовій групі клітей. Наведено розподілу крутних моментів в клітях уздовж довжини смуги. Показано, що прокатці смуг з ППУ середньоквадратичне відхилення моменту помітно менше, ніж при прокатці без ППУ. Рівень динамічних навантажень і коефіцієнта динамічності моменту сил пружності при прокатці смуг з ППУ і без ППУ практично не змінився. Показано, що при прокатці без ППУ на готової смугі залишається слід від температурного клину у вигляді клина товщини. При прокатці з ППУ товщина смуги по її довжині стає більш рівномірною. При прокатці без ППУ на готової смугі залишається слід від температурного клину у вигляді клина товщини. При прокатці з ППУ товщина смуги по її довжині стає більш рівномірною. В цілому порівняння за середнім моменту вздовж смуг, середньоквадратичного відхилення, коефіцієнту варіації моменту і відхилення товщини показує переваги прокатки з ППУ.

**Ключові слова:** широкосмуговий стан, гаряча прокатка, перемотувального пристрій, момент, коефіцієнт варіації, товщина смуги



*N. I. Podobedov, V. V. Verenev, V. V. Korennoi*

**The evaluation of effectiveness of the device "Coilbox" on the mill 1680**

The aim of the work is to conduct a comparative analysis of the results of rolling hot-rolled strips in the finishing group of mill stands of 1680 strips with and without the use of an intermediate rewinding device (PUF). A comparative analysis of the results of measurements of the moment and longitudinal thickness during rolling in the finishing group of stands is given. Given the distribution of torque in the cages along the length of the strip. It is shown that the mean square deviation of the moment is noticeably less than the rolling time without PUF. The level of dynamic loads and the dynamic factor of the moment of elastic force during the rolling of bands with polyurethane foam and without polyurethane foam practically did not change. It is shown that when rolling without PUF on the finished strip there remains a trace of the temperature wedge in the form of a wedge of thickness. When rolling with PUF, the thickness of the strip along its length becomes more uniform. When rolling without PUF, a trace of a wedge of thickness in the form of a wedge remains on the finished strip. When rolling with PUF, the thickness of the strip along its length becomes more uniform. In general, a comparison of the average moment along the stripes, the standard deviation, the coefficient of variation of the moment and the deviation of the thickness shows the advantages of rolling with PUF.

**Keywords: broadband mill, hot rolling, rewinding device, moment, coefficient of variation, strip thickness**

*Статья поступила в редакцию сборника 01.11.2018 года,  
прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания  
редакционной коллегии сборника №1 от 26 декабря 2018 года)  
Рецензенты: д.т.н, проф.. И.В.Добров, д.т.н. С.А.Воробей,  
к.т.н. К.В.Баюл*