

*С. А. МАШЕКОВ, А. Е. НУРТАЗАЕВ, Е. З. НУГМАН, А. С. МАШЕКОВА*

**РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ  
И НАПРЯЖЕНИЙ ВАЛКОВ ПРИ ПРОКАТКЕ В НОВОМ СТАНЕ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ MSC.VISUALNASTRAN 4D**

*(Представлена академиком НАН РК Ж. Ж. Байгунчековым)*

Рассматривается методика расчета суммарного перемещения, деформированного и напряженного состояния, а также распределение запасов прочности валков при прокатке в клетях нового стана.

Одним из основных направлений повышения качества прокатываемых полос является обеспечение минимальной продольной и поперечной разнотолщинности, а также планшетной формы полосы [1]. В настоящее время для прокатки

полос с заданной толщиной, профилем и планшетной формой ведутся работы, направленные на совершенствование прокатного оборудования, создания новых конструкций прокатных станов и валковых систем, разработку автоматических

систем управления толщиной, профилем и планшетностью прокатываемых полос, создание новых способов прокатки и валковых систем для их реализации.

По нашему мнению, лучшим методом регулирования поперечной разнотолщины и планшетности является уменьшение усилия прокатки от одной клети к другой в направлении прокатки. С этой целью нами разработана конструкция прокатного стана [2], позволяющая снизить энергосиловые параметры прокатки.

Данный непрерывный стан для прокатки полос из стали и сплавов содержит рабочие клети, универсальные шпинделы, электродвигатель, шестеренные клети, редуктор с коническими шестернями, моторную муфту, коренные муфты, пружинные уравновешивающие устройства шпинделей, опорные неприводные валки, рабочие приводные валки, станину, опорную плиту, анкерные болты. При этом имеющие от одного двигателя переменного тока привод клети содержат рабочие и опорные валки постоянного диаметра. Необходимо отметить, что в последовательно расположенных клетях диаметр рабочих валков уменьшается в направлении прокатки, а диаметры опорных валков увеличиваются. При этом диаметры рабочих и опорных валков определяются по формуле, соответственно:

$$D_i = \frac{\pi \cdot h_i \cdot n}{60}; \quad D_j = \frac{\pi \cdot h_j \cdot n}{60}$$

( $i = 1, 2, \dots, N-1, N$  при  $j = N, N-1, \dots, 2, 1$ ), (1)

где  $h_i$  – толщина прокатываемой полосы;  $n$  – число оборотов валков за проход прокатки;  $N$  – порядковый номер клети, а расстояние между рабочими валками от одной клети к другой против направлений прокатки увеличивается на величину  $k h_k$ ,  $h_k$  – конечная толщина прокатываемой полосы;  $k$  – порядковый номер клети в обратном направлении прокатки.

Для определения энергосиловых параметров прокатки, а также напряженно-деформированного состояния деформируемого металла и различных узлов нового стана необходимо спроектировать данный стан с соответствующими рабочими клетями. Проектирование стана реализовали с использованием программы конечно-элементного анализа MSC.visualNastran 4D. Система компьютерного моделирования MSC.visualNastran 4D позволяет исследовать

кинематику, динамику механизмов с возможностью расчета напряженно-деформированного и теплового состояния, как отдельных звеньев, так и механизма в целом.

Исходными данными для расчета являются твердотельная геометрическая форма конструкции стана, силы и условия закрепления, приложенные к ним, а также условия сопряжения кинематических пар конструкции клетей.

Сборочная трехмерная геометрическая модель стана, была построена в CAD программе Inventor, и посредством встроенного транслятора импортирована в среду MSC.visualNastran 4D с принятymi кинематическими связями. Данный подход позволяет улучшить связь этапов автоматизированного проектирования сложных механизмов. Для возможности автоматической коррекции геометрии модели стана, был использован метод параметризации геометрических размеров конструкции. Данный метод позволяет по результатам расчета на прочность, вносить соответствующие изменения в конструкцию инструмента.

В ходе предварительного анализа работы стана, исходя из условия симметрии работы элементов конструкции, а также для упрощения расчетной схемы, были приняты к расчету наиболее нагруженные силовые элементы конструкции, такие как валки, нажимные механизмы, клети и шейка валков.

Кинематические связи между элементами, моделировались кинематическими парами вращения и скольжения для общих поверхностей сопряжения. При этом учитывались соударения и трение в валках, клетях и т. д.

Рассмотрим основные результаты расчета эквивалентных напряжений и деформаций валков, возникающих при прокатке в новом стане.

В MSC.SuperForge инструменты принимаются абсолютно жесткими и обеспечивают свойства теплопроводности и теплопередачи, т.е. удельная теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность приняты во внимание. Из базы данных материалов назначаем материал инструмента H13. Для этого материала плотность и тепловые свойства программа назначила по умолчанию.

Взаимодействие между жестким валком и деформируемым материалом заготовки моделируется с помощью контактных поверхностей, которые описывают контактные условия между

поверхностями валков и поверхностью толстого листа. В процессе моделирования контактные условия постоянно обновляются, отражая вращение валков и деформацию материала, что позволяет моделировать скольжение между валком и материалом обрабатываемой заготовки. Контакт между валком и толстым листом смоделирован трением по Кулону, коэффициент трения был принят 0,5. Из базы данных материалов назначали материал S20C (сталь Ст.08kp по стандарту стран СНГ) прокатываемой полосе. Упругие свойства и диаграмма деформирования данной стали в зависимости от степени и скорости деформации выбирали из базы данных программы.

Температурный режим при прокатке состоит из обмена тепла между валком, тонким слябом и окружающей средой, а также из теплового эффекта за счет деформации металла. Процесс прокатки проходит при комнатной температуре, поэтому начальную температуру валка приняли равной 20°C.

Для того чтобы рассчитать эквивалентные напряжения и деформации валков, необходимо рассчитать эквивалентные напряжения и деформации, а также температурное поле, возникающие при прокатке в деформируемой полосе.

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что при прокатке во всех клетях нового стана эквивалентные напряжения и деформации сосредотачиваются в зоне контакта металла с деформируемой полосой. При этом в этих зонах повышается температура до 370°C.

На рис. 1 и 2 приведены результаты расчета усилия прокатки, возникающих в различных направлениях осей координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (направление оси  $x$  совпадает с направлением оси прокатки), а также эквивалентные напряжения и деформации валков при прокатке в новом стане. Действительные значения эквивалентных напряжений и деформаций приведены в цифровом виде на соответствующих цветовых эпюрах. Из данных рисунков видно, что в нестационарной стадии во всех направлениях деформируемой полосы усилия прокатки возрастают, а в установившейся стадии полоса деформируется при постоянном усилии.

Проведенные на конечно-элементных моделях расчеты показали, что:

- максимальное усилие, возникающее в направление оси  $u$ , т.е. в вертикальном направлении,

приводит к возникновению максимальных упругих перемещений (изгиба) в этом же направлении прокатки;

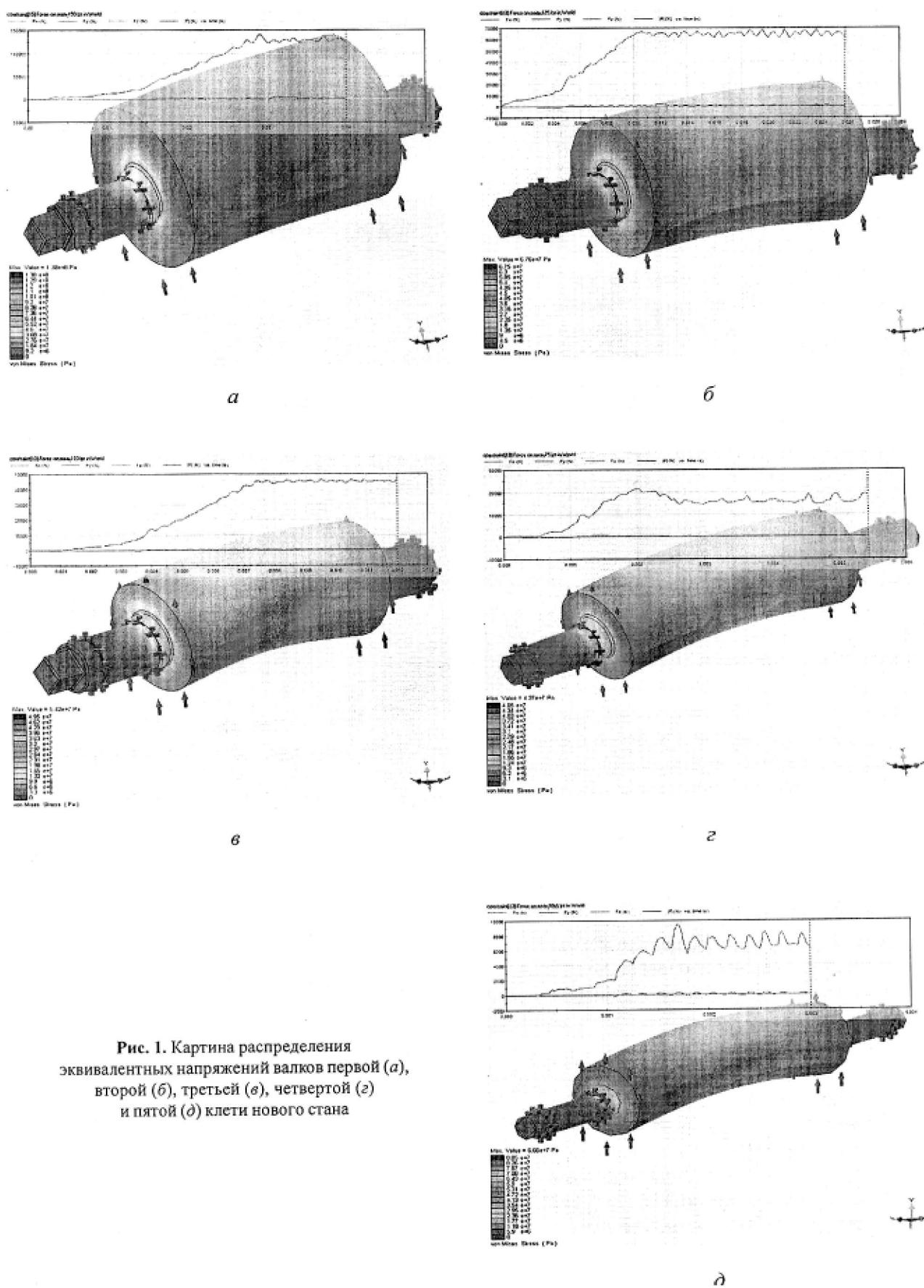
- наибольшее усилие, возникающее в направление оси прокатки, т.е. оси  $x$ , приводит к появлению симметричных наибольших упругих перемещений материала валков в краях данного инструмента;

- сосредоточения максимальных усилий, возникающих в направлениях оси валка (т.е. оси  $z$ ) по краям валков в шахматном порядке, приводит к появлению максимальных упругих перемещений материала валков в этих же местах инструмента;

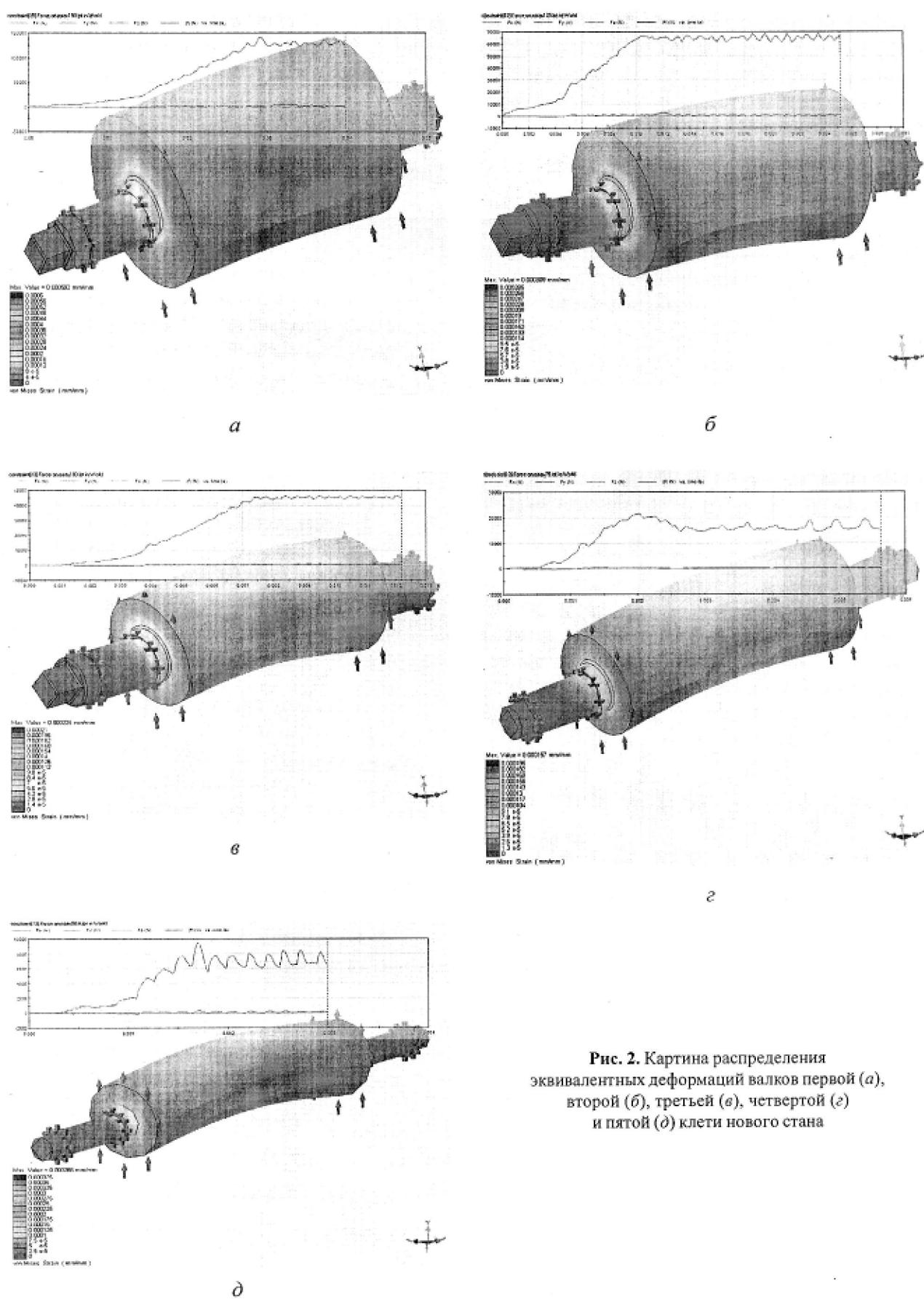
- при проходе заготовок от одной клети к другой усилие прокатки уменьшается и равняется следующим значениям: 150 000 Н; 70 000 Н; 45 000 Н; 20 000 Н; 10 000 Н соответственно для первой, второй, третьей, четвертой и пятой клетей (рис. 1 и 2);

- максимальное эквивалентное напряжение в бочке валков равняется  $2,76 \times 10^7$  Па (рис. 1),  $1,35 \times 10^7$  Па,  $1,32 \times 10^7$  Па,  $1,55 \times 10^7$  Па и  $2,36 \times 10^7$  Па, а для шейки валков –  $1,01 \times 10^8$  Па (рис. 1),  $4,95 \times 10^7$  Па,  $3,63 \times 10^7$  Па,  $3,41 \times 10^7$  Па и  $2,95 \times 10^7$  Па соответственно при прокатке в первой, второй, третьей, четвертой и пятой клети предлагаемого стана. Причем максимальное эквивалентное напряжение возникает в шейке валков. Полученные максимальные значения эквивалентного напряжения  $4,95 \times 10^7$  Па, не превышают максимально допустимое для данного материала значение предела прочности  $1,380 \times 10^9$  Па;

- под действием приложенных вертикальных сил валки прогибаются в направлении действия силы, а шейка валков упруго деформируются в этом же направлении, причем максимальное значение эквивалентной деформации (рис. 2) составляет для бочки валков  $0,000008$ ,  $0,0000057$ ,  $0,000007$ ,  $0,0000052$ ,  $0,0001$  для шейки валков –  $0,00044$ ,  $0,000209$ ,  $0,000154$ ,  $0,00013$ ,  $0,0001$  соответственно первой, второй, третьей, четвертой и пятой клети предлагаемого стана. В целом величина упругой деформации элементов валков невелика, что свидетельствует о достаточно высокой жесткости узла валков рабочей клети. Это гарантирует получение поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос в пределах требуемых допускаемых отклонений;



**Рис. 1.** Картина распределения эквивалентных напряжений валков первой (а), второй (б), третьей (с), четвертой (д) и пятой (е) клети нового стана



**Рис. 2.** Картина распределения эквивалентных деформаций валков первой (а), второй (б), третьей (с), четвертой (д) и пятой (д) клети нового стана

– при прокатке в последних клетях предлагаемого стана, особенно нестационарной стадии прокатки, увеличивается резонансная вибрация, что сопровождается колебаниями прокатываемой полосы в последних межклетевых промежутках (рис. 1 и 2). Время роста амплитуды вибрации в нестационарной стадии равняется 1–2 с. Однако, в установившейся стадии, процесс прокатки стабилизируется, что исключает обрыв полосы и увеличивает точность получаемой полосы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов Е. Преимущества несимметричной прокатки и процесса прокатка – волочение при получении полос с планшетной формой // Оборудование. 2005. № 11. С. 56-63.

2. Патент 20969. Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов / С. А. Машеков, Е. З. Нутман, А. С. Машекова, и др. // Опубл. 16.03.2009. Бюл. № 3.

#### Резюме

Жаңа орнақтың қапастарында илемдеу кезіндегі деформацияланған және кернеулік құйдегі, жиынтық орынауыстыруды есептеу әдістемесі, сонымен катар біліктердің беріктік қорының таралуы қарастырылған.

#### Summary

The method of calculation of the total moving is examined in this article, deformed and tense state, and similarly distributing of margins of safety of rollers at rolling in the cages of new figure.

УДК 669.35.074.669.539.5

Казахский национальный технический  
университет, г. Алматы

Поступила 03.06.10г.