

ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

УДК 621.771.294

© Снитко С.А.¹, Яковченко А.В.², Івлева Н.І.³**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ ВАЛКОВ КОЛЕСОПРОКАТНЫХ СТАНОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА**

Созданы теоретические основы, новый метод и компьютерная программа проектирования сборочных чертежей нажимного и эджерных валков колесопрокатных станов вертикального типа. Предусмотрена визуализация проектируемого сборочного чертежа и цифровой информации о расстояниях между валками, а также между ними и прокатываемым колесом, в том числе и с учетом переточек этих валков.

Ключевые слова: колесопрокатный стан вертикального типа; сборочный чертеж нажимного и эджерных валков; метод проектирования; компьютерная программа.

Снітко С.О., Яковченко О.В., Івлева Н.І. Теоретичні основи автоматизованого проектування складальних креслень валків колесопрокатних станів вертикального типу. Створено теоретичні основи, новий метод і комп'ютерну програму проектування складальних креслень натискного і еджерних валків колесопрокатних станів вертикального типу. Передбачена візуалізація складального креслення, що проектується, і цифрової інформації про відстані між валками, а також між ними і колесом, що прокатується, в тому числі і з урахуванням переточувань цих валків.

Ключові слова: колесопрокатний стан вертикального типу; складальне креслення натискного і еджерних валків; метод проектування; комп'ютерна програма.

S.O. Snitko, O.V. Yakovchenko, N.I. Ivleva. Theoretical foundations of the automated designing of assembly drawings of rolls of wheel rolling vertical type mills. The theoretical foundations, the new method and a computer software of designing of assembly drawings of the pressure and inker rollers of wheel-rolling mills of vertical type were created. The imaging of designing assembly drawing and digital information about the distances between the rolls, as well as between them and rolled wheel including taking into account regrinding of the rolls, was provided.

Keywords: wheel-rolling mill of vertical type; assembly drawing and pressing inker rolls; design method; computer software.

Постановка проблемы. Автоматизированное проектирование эджерных, нажимных и конических валков, а также центрирующих и направляющих роликов современных колесопрокатных станов вертикального типа, необходимых для освоения новых высокоэффективных конструкций железнодорожных колес является, актуальной научно-технической проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. В Украине и России железнодорожные колеса производят на ОАО «ИНТЕРПАЙП Нижнеднепровский трубопрокатный завод» (ИНТЕРПАЙП – НТЗ), ОАО «Выксунский металлургический завод» (ВМЗ), ОАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (ЕВРАЗ НТМК). На ОАО «ИНТЕРПАЙП – НТЗ» и ОАО «ВМЗ» используются колесопрокатные станы горизонтального типа устаревшей конст-

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

³ программист, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

рукции. На ОАО «ЕВРАЗ НТМК» и ряде заводов дальнего зарубежья установлены усовершенствованные колесопрокатные станы вертикального типа [1]. Методы и компьютерные программы проектирования валков для станов горизонтального типа, созданные в работах [2, 3], не могут быть применены для станов нового типа, конструкции которых существенно отличаются. Важной особенностью также является принципиальная невозможность разработки валков для станов вертикального типа без предварительного проектирования сборочных чертежей нажимного и эджерных валков.

Цель работы - создание теоретических основ, нового метода и компьютерной программы проектирования сборочных чертежей нажимного и эджерных валков, а также чертежей валков и роликов современных колесопрокатных станов вертикального типа.

Изложение основного материала. Прокатку железнодорожных колес на современных станах [1] выполняют в вертикальном положении. Предварительно полученную на формовочном прессе колесную заготовку, имеющую обод, диск и ступицу, деформируют двумя приводными (передним и задним) эджерными валками, которые используются для выкатки диска и внутренней поверхности обода колеса, одним нажимным (коренным) валком - для выкатки профиля поверхности обода и двумя коническими боковыми валками (роликами) - для обжатия боковых поверхностей обода [4]. При этом также используются два центрирующих и два направляющих (ведущих) ролика колесопрокатного стана (КПС).

Проектирование сборочного чертежа нажимного и эджерных валков КПС выполняется после разработки калибровок по металлу для КПС и формовочного пресса, которые представляют собой соответственно контуры сечений прокатанного черного колеса и отформованной колесной заготовки, показанные (для колес различных типов) на рис. 1, 2. Информация об этих контурах, состоящих из отрезков прямых и дуг окружностей, в виде массивов координат точек сопряжений и величин радиусов дуг поступает для проектирования сборочного чертежа из соответствующих окон компьютерной программы автоматически.

Внутренние поверхности обода с наружной и внутренней сторон колеса и боковые поверхности части диска в зоне обода определяют конфигурацию рабочих поверхностей соответствующих эджерных валков (см. рис. 1). Кроме калибровок к основной исходной информации также относятся величины диаметров эджерных валков D , их длин L , а также углов поворота осей валков α и β , которые задаются в соответствующих таблицах, показанных на рис. 3. Их корректировка может выполняться оперативно в правой верхней части окна программы, показанного на рис. 1, 2.

Разработана математическая модель сборочного чертежа нажимного и эджерных валков КПС. Контур заднего эджерного валка проектируется с учетом параметров стана A , B , C (рис. 3) и контура колеса в последний момент прокатки на КПС. Используемая система координат, показана на рис. 4.

Положение колеса по оси Y зависит от заданного угла наклона оси валка α и диаметра валка D_l . Точка дуги колеса под ободом, в которой валок с ним соприкасается, определяется пересечением двух прямых. Одна из них проведена параллельно оси валка (проходящей под углом α к вертикали) на расстоянии $D_l/2$ от нее. Другая - на расстоянии T от оси колеса, где величина T определяется следующим образом. Из центра дуги радиуса R_l с координатами $(x_c; y_c)$ построим прямую линию под углом α к вертикали, а затем восстановим из этого центра перпендикуляр к построенной линии до пересечения с дугой. Величина T - это расстояние от полученной таким образом точки на дуге до оси колеса, совмещенной с осью Y . После того, как положение колеса в заданной системе координат становится известным, используя указанную выше исходную информацию, в том числе, представленную в таблицах окна «эджерные валки» на рис. 3, автоматически выполняется построение всего контура сечения валка.

Для проектирования переднего эджерного валка необходимо определить только угол наклона его оси к вертикали в последний момент прокатки колеса. Для этого найдем касательную к следующим двум окружностям (рис. 5). Одна из них имеет центр $(-C; \theta)$ и радиус, равный A . Вторая окружность имеет центр, совпадающий с центром дуги радиуса R_2 под ободом, и радиус $(D/2 - R_2)$. Зная координаты точек сопряжения этих окружностей с касательной, определяется угол β . Кроме угла β остальная исходная информация задается также как и для заднего эджерного валка.

Чтобы подвести эджерные валки к колесной заготовке, полученной на формовочном прессе, необходимо определить требуемые углы поворота осей валков в первый момент прокатки. Пользуясь обозначениями рис. 6, рассмотрим необходимые соотношения для заднего эджерного валка. Для переднего эджерного валка выполняются аналогичные расчеты.

Очевидно, что

$$m = A \cdot \cos f, \quad h = (L + B) \cdot \sin f, \quad S = (D/2 - R) \cdot \cos f, \quad x = C + m. \quad (1)$$

Используя соотношения (1), запишем выражение $x - x_c = S + h$, где x_c - абсцисса центра дуги под ободом колесной заготовки. Получим:

$$C + A \cdot \cos f - x_c = (D/2 - R) \cdot \cos f + (L + B) \cdot \sin f. \quad (2)$$

После преобразований выражение (2) примет вид

$$(D/2 - R - A) \cdot \cos f + (L + B) \cdot \sin f = C - x_c. \quad (3)$$

Обозначив $A_0 = (D/2 - R - A)$, $B_0 = L + B$, $C_0 = C - x_c$, уравнение (3) запишем в виде

$$A_0 \cdot \cos f + B_0 \cdot \sin f = C_0. \quad (4)$$

Так как $\sin f = \sqrt{1 - (\cos f)^2}$, то выражение (4) примет вид

$$A_0 \cdot \cos f + B_0 \sqrt{1 - (\cos f)^2} = C_0. \quad (5)$$

Выполнив в выражении (5) замену $\cos f = y$, получим

$$B_0 \sqrt{1 - y^2} = C_0 - A_0 \cdot y. \quad (6)$$

Возведя обе части уравнения (6) в квадрат, получим

$$B_0^2 (1 - y^2) = C_0^2 - 2C_0 \cdot A_0 \cdot y + A_0^2 \cdot y^2. \quad (7)$$

Приведем выражение (7) к виду следующего квадратного уравнения

$$y^2 - \frac{2C_0 \cdot A_0}{A_0^2 + B_0^2} \cdot y + \frac{C_0^2 - B_0^2}{A_0^2 + B_0^2} = 0. \quad (8)$$

Из двух корней уравнения (8) выберем следующий

$$y = \frac{C_0 \cdot A_0}{A_0^2 + B_0^2} + \sqrt{\frac{C_0^2 - A_0^2}{(A_0^2 + B_0^2)^2} - \frac{C_0^2 - B_0^2}{A_0^2 + B_0^2}}. \quad (9)$$

Так как $\cos f = y$, то

$$f = \arccos \left[\frac{C_0 \cdot A_0}{A_0^2 + B_0^2} + \sqrt{\frac{C_0^2 - A_0^2}{(A_0^2 + B_0^2)^2} - \frac{C_0^2 - B_0^2}{A_0^2 + B_0^2}} \right].$$

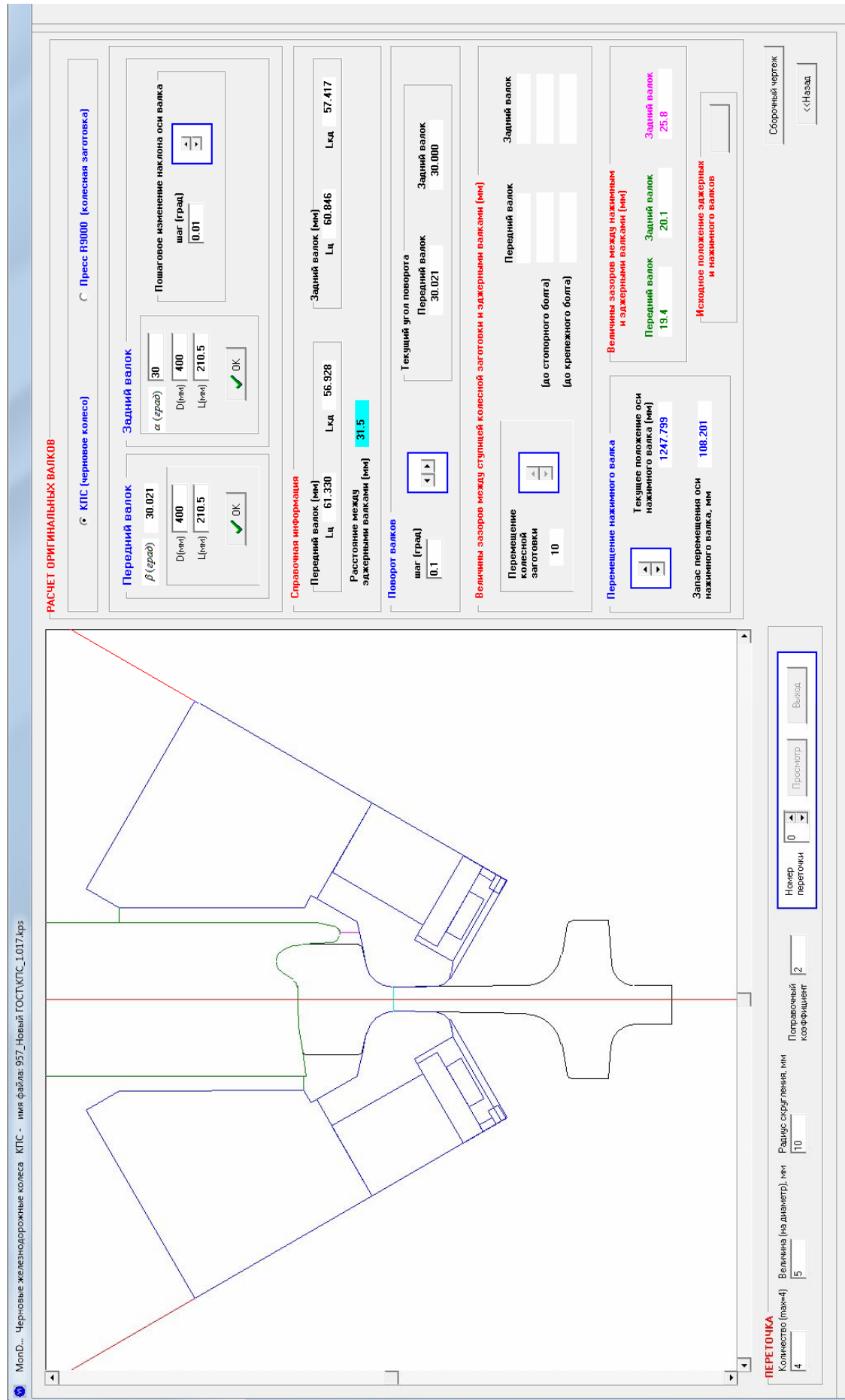


Рис. 1 – Окно контрольного построения сборочного чертежа валков КПС (последний момент прокатки)

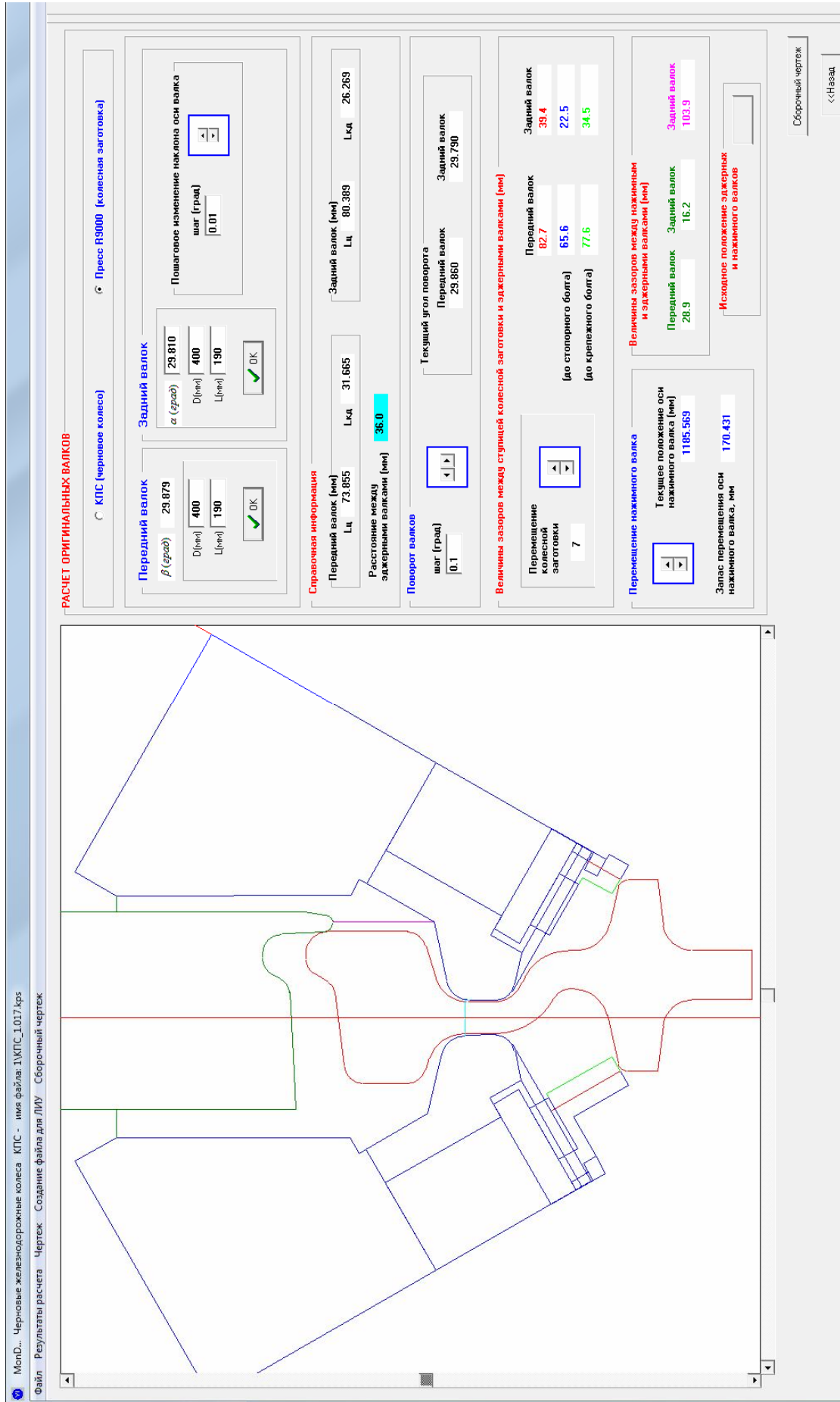


Рис. 2 – Окно контрольного построения сборочного чертежа валков КПС (первый момент прокатки)

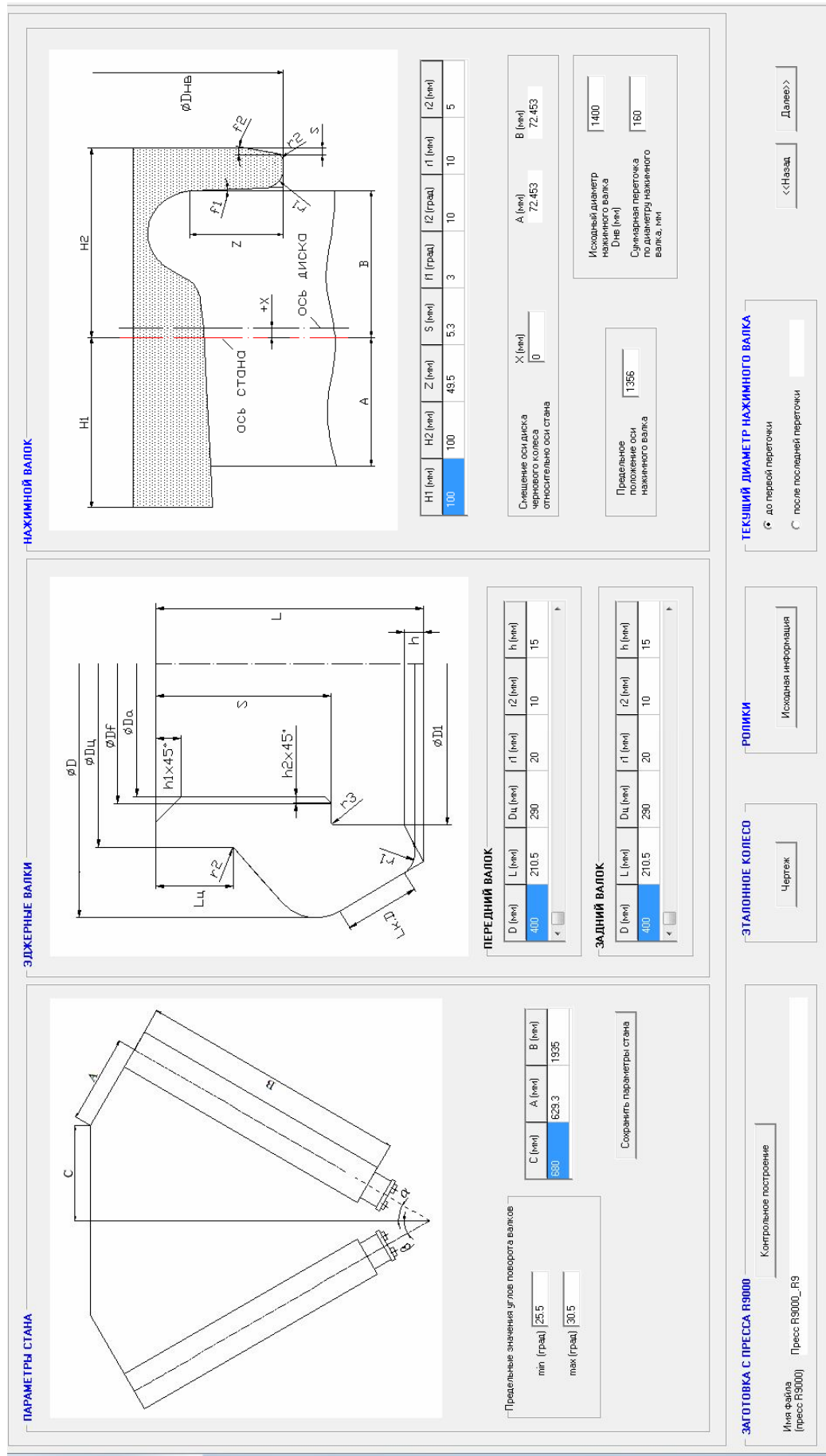


Рис. 3 – Окно задания исходной информации для сборочного чертежа нажимного и эджерных валков КПС

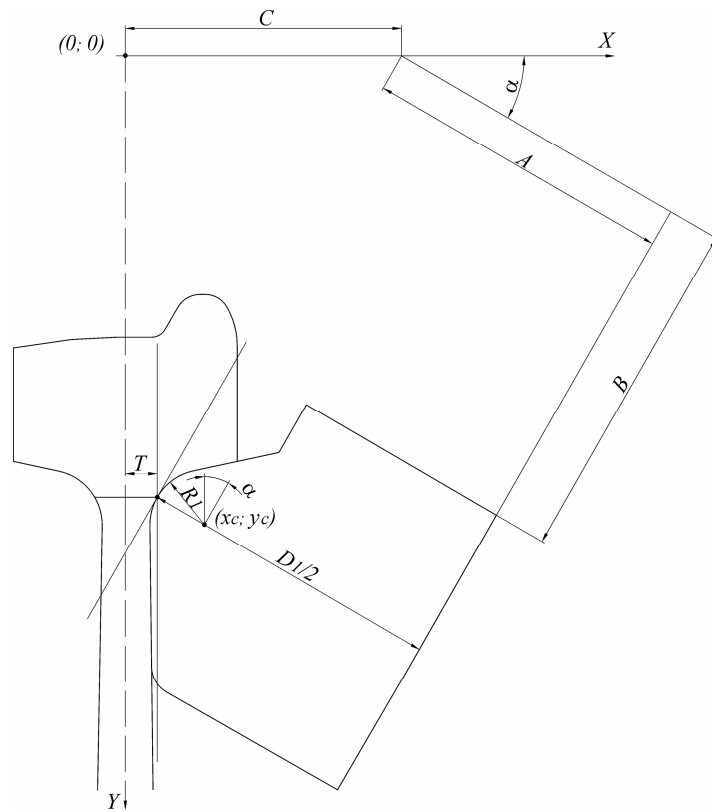


Рис. 4 – Взаимное положение заднего эджерного валка и колеса в последний момент его прокатки

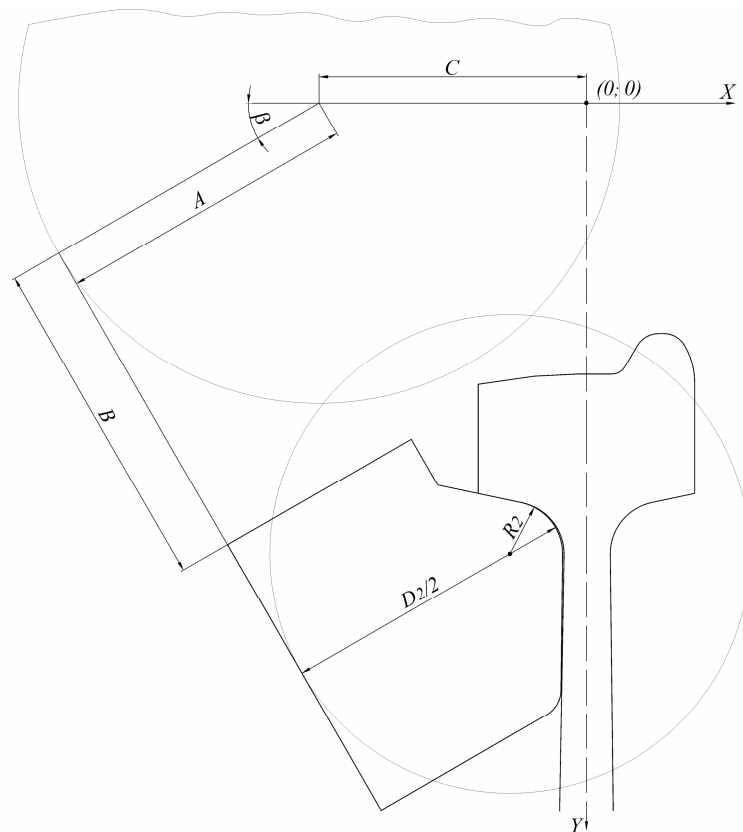


Рис. 5 – Схема к определению угла подвода β оси переднего эджерного валка в последний момент прокатки колеса

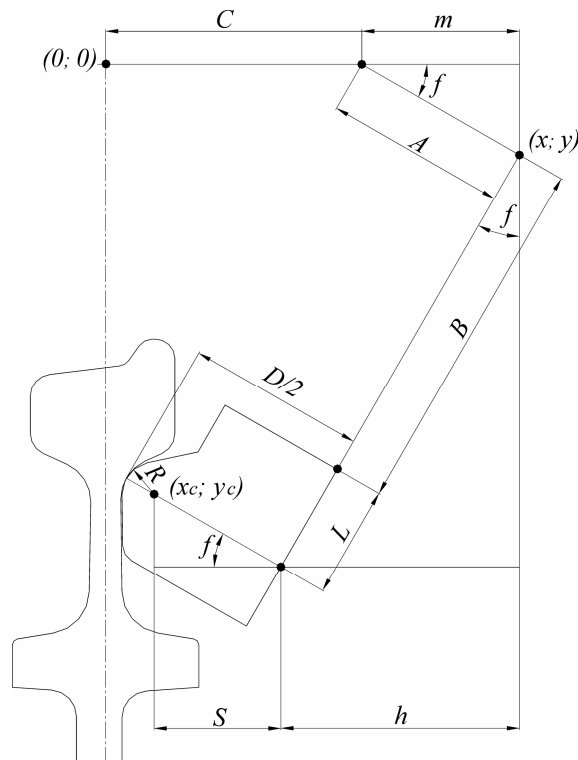


Рис. 6 – Схема к определению угла подвода f заднего эджерного валка к колесной заготовке в первый момент прокатки

Угол f найден из условия, что центр дуги под ободом колесной заготовки, имеющий координаты $(x_c; y_c)$, лежит на линии диаметра эджерного валка D (см. рис. 6).

Используемая на практике технология в первый момент прокатки предусматривает смещение колесной заготовки относительно ее положения, показанного на рис. 6, до 7 - 10 мм в сторону нажимного валка (так, как это показано на рис. 2). Моделирование указанного перемещения предусмотрено и в процессе проектирования сборочного чертежа. Для спроектированного варианта сборочного чертежа в окне контрольного построения можно в динамике выполнить также поворот эджерных валков.

Визуализация построения контуров эджерных валков и подведения их к колесной заготовке (рис. 2), а также к контуру колеса (рис. 1) совместно с представляемой в окнах программы цифровой информацией позволяют выполнить объективную оценку проектируемого инструмента деформации и на этой основе внести требуемые корректировки.

В правой верхней части окна программы (см. рис. 1) расположены поля ввода для текущих значений диаметров и длин эджерных валков, необходимые для оперативного изменения этих величин в процессе проектирования. После нажатия кнопок «ок», расположенных под полями ввода (см. рис. 1), в таблицах эджерных валков (см. рис. 3) происходит замена прежних значений на новые.

В расчетах первоначально угол поворота α оси заднего эджерного валка принимается равным 30° , а угол поворота β переднего эджерного валка рассчитывается (см. рис. 5). В рассматриваемом окне имеется возможность пошагово изменять угол α в пределах допустимых значений и соответственно выполнять различные варианты сборочных чертежей.

Каждый расчет сопровождается получением справочной информации о длинах цилиндрического $L_{ц}$ и конусного $L_{кд}$ участков эджерных валков (см. схему эджерных валков на рис. 3), а также расстоянии между эджерными валками.

Предусмотрено выполнение расчетов контуров эджерных валков с учетом заданного количества переточек. В левой нижней части окна (см. рис. 1) имеются группы компонентов для задания информации о требуемом количестве переточек и величине переточки по диаметру

валка. Контуры нельзя получить путем их плоскопараллельного переноса. Поэтому здесь задается поправочный коэффициент, используемый для учета обточки, близкой к равномерной, по цилиндрическому и конусному участкам эджерных валков. При указании номера переточки автоматически выполняется контрольное построение соответствующего сборочного чертежа. Кнопка «Просмотр» (см. рис. 7) предназначена для контрольного построения всего комплекта эджерных валков, включая оригинальные и полученные после каждой из переточек.

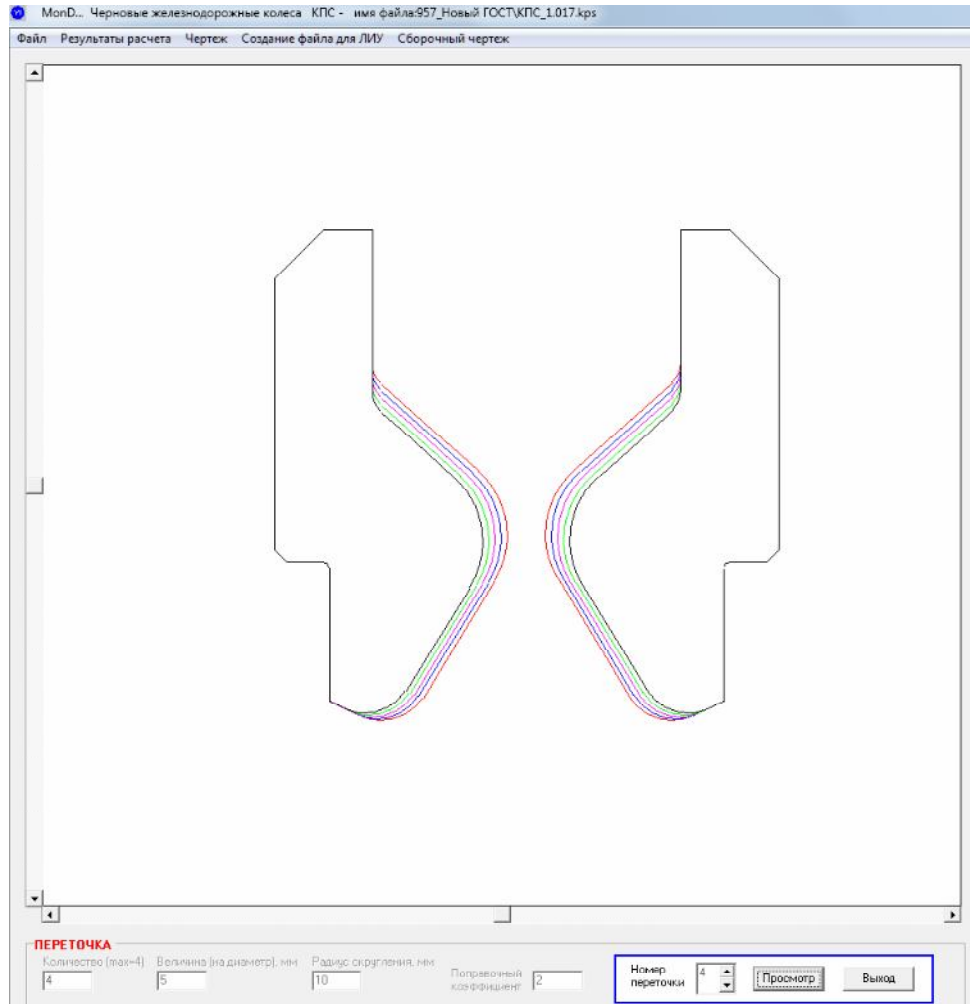


Рис.7 – Окно контрольного построения эджерных валков с учетом заданного количества переточек

В процессе проектирования отображается цифровая информация о расстояниях, как между эджерными валками, так и между ними и прокатываемой колесной заготовкой, в том числе и с учетом переточек этих валков.

Контур калибра нажимного валка определяется контуром поверхности обода колеса (рис. 1). Информация об этом контуре, состоящем из отрезков прямых и дуг окружностей, в виде массивов координат точек сопряжений и величин радиусов дуг поступает для проектирования сборочного чертежа из соответствующих окон программы автоматически.

В блоке «Нажимной валок» (рис. 3) задается дополнительная информация, которая используется при построении контура нажимного валка. Прежде всего, это размеры валка, показанные на схеме обозначений. Кроме того, здесь задается смещение оси диска черного колеса (в зоне его соединения с ободом) относительно оси стана. Указанное смещение обозначено буквой X . Соответствующие этому смещению величины A и B (см. схему обозначений в блоке «Нажимной валок») отображаются в соответствующих информационных окнах. В зависимости от их соотношения и определяется знак и величина X . Также здесь указывается предельное по-

ложение оси нажимного валька. При проектировании сборочного чертежа программа контролирует текущее положение оси нажимного валька и в случае превышения предельного значения выдает соответствующее сообщение. Здесь же задается исходный диаметр нажимного валька (до первой переточки) и величина суммарной переточки по диаметру нажимного валька. Имеется возможность в процессе проектирования сборочного чертежа выполнить его контрольное построение как с учетом диаметра нажимного валька до его первой переточки, так и с учетом указанного диаметра после последней переточки валька.

В процессе проектирования отображается цифровая информация о текущем положении оси нажимного валька и допустимом ее перемещении, а также о зазорах между нажимным и эджерными вальками.

Разработана компьютерная программа предназначена также для проектирования ведущих, центрирующих и конических роликов.

Программой автоматически формируется таблица размеров переднего и заднего эджерных вальков для заданного количества переточек.

Предусмотрена возможность передачи спроектированного сборочного чертежа, а также контуров всех вальков и роликов, в графический редактор Autocad.

Выводы

Созданы теоретические основы, новый метод и компьютерная программа проектирования сборочных чертежей нажимного и эджерных вальков колесопрокатных станов вертикального типа. Предусмотрена визуализация проектируемого сборочного чертежа и цифровой информации о расстояниях между вальками, а также между ними и прокатываемым колесом, в том числе, и с учетом переточек этих вальков. Программа позволяет также проектировать ведущие, центрирующие и конические ролики колесопрокатных станов. Предусмотрена возможность передачи спроектированного сборочного чертежа, а также контуров всех вальков и роликов, в графический редактор Autocad. Разработанный метод и компьютерная программа позволяют снизить трудоемкость расчетных и графических работ.

Список использованных источников:

1. Копперс У. Производство железнодорожных колес на высоком техническом уровне / У. Копперс, М. Кунц // Черные металлы. 2006. – № 3. – С. 75-79.
2. Яковченко А.В. Проектирование профилей и калибровок железнодорожных колес: монография / А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева, Р.А. Голышков. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2008. – 491 с.
3. Компьютерное проектирование калибров и построение чертежей наклонных, нажимных и главных вальков колесопрокатных станов / А.В. Яковченко, С.А. Снитко, Собхи Хасан, Н.И. Ивлева // Металл и литье Украины. – 2005. – № 1-2. – С. 26-30.
4. Новый способ и рациональные режимы прокатки колес / А.В. Кушнарев, А.А. Васильев, В.Д. Шестак, А.А. Богатов // Сталь. – 2010. – № 5. – С. 83-85.

Bibliography:

1. Koppers W. Production of railway wheels at a high technical level / W. Koppers, M. Kunz // Ferrous metals. 2006. – № 3. – P. 75-79. (Rus.)
2. A.V. Yakovchenko. Designing of profiles and calibration of railway wheels: monograph / A.V. Yakovchenko, N.I. Ivleva, R.A. Golyshkov. – Donetsk: Donetsk National Technical University, 2008. – 491 p. (Rus.)
3. Computer design of calibers and drawings construction of inclined, pinch rollers and the rolls of main wheel-rolling mill / A.V. Yakovchenko, S.A. Snitko, Hassan Sobhi, N.I. Ivleva // The metal and the cast of Ukraine. – 2005. – № 1-2.-P. 26-30. (Rus.)
4. New method and rational modes of wheels rolling / A.V. Kushnarev, A.A. Vasiliev, V.D. Shestak, A.A. Bogatov // Steel. – 2010. – № 5. – P. 83-85. (Rus.)

Рецензент: Е.А. Руденко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ДонНТУ»

Статья поступила 25.04.2014