

<sup>1,\*</sup>Яковченко А. В., <sup>2</sup>Токарь А. А.

<sup>1</sup>Институт прикладной математики и механики,

<sup>2</sup>Донецкий национальный технический университет

\*E-mail: mond1991@mail.ru

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЕСНОЙ ЗАГОТОВКИ, ИСКЛЮЧАЮЩЕЙ ПЕРЕТЕКАНИЕ МЕТАЛЛА ИЗ ОБОДА В ДИСК ЧЕРНОВОГО КОЛЕСА ПРИ ЕГО ПРОКАТКЕ

Проектирование колесной заготовки выполнялось на базе разработанной математической модели основных параметров обода с гребнем и специализированной компьютерной программы. Выполнены предварительные и уточненные расчеты основных параметров обода, а также проектирование колесной заготовки, исключая перетекание металла между существенно отличающимися элементами, такими как обод заготовки и диск чернового колеса диаметром 843 мм, при его прокатке на современных прессопрокатных линиях, что направлено на устранение нестабильности процесса прокатки и уменьшение вероятности образования дефектов.

**Ключевые слова:** черновое железнодорожное колесо, колесная заготовка с гребнем, формовочный пресс, колесопрокатный стан, калибровка, математическая модель, специализированная компьютерная программа.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБНУ «ИПММ» (тема № FREM-2026-0006).

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Технология прокатки колес на прессопрокатных линиях старого типа (АО «Выксунский металлургический завод», ПАО «Интерпайп Нижнеднепровский трубопрокатный завод») и современных (АО «Евраз Нижнетагильский металлургический комбинат», ТОО «Промашкомплект») имеет ряд отличий [1–5].

Вместе с тем во всех случаях при прокатке колес увеличение длины диска выполняется в основном из металла, зарезервированного в ободе колесной заготовки. Это приводит к перетеканию металла из обода колесной заготовки, полученной на формовочном прессе, в диск чернового колеса. Известно, что такой процесс характеризуется нестабильностью, так как реализовать строго нормированное перетекание металла между существенно отличающимися частями колесной заготовки довольно сложно. Поэтому на практике используемый способ может привести к образованию заката по гребню, его неvyкатке, образованию утяжек.

В работе [6] предложен способ, исключая перетекание металла из обода колесной заготовки в диск чернового колеса за счет обеспечения условий, когда в течение всего процесса прокатки массы обода и диска колесной заготовки равны, соответственно, массам обода и диска чернового колеса.

Этот способ в начале двухтысячных годов был успешно реализован на прессопрокатной линии старого типа (ПАО «Интерпайп НТЗ») при прокатке на колесопрокатном стане (КПС) горизонтального типа колеса диаметром 833 мм из колесной заготовки без предварительно подготовленного на формовочном прессе гребня.

Выкатка гребня выполнялась на КПС. При этом брак по прокату был уменьшен на 12 %.

Результат был получен по итогам сопоставления брака при прокатке более 1000 колес по усовершенствованной технологии по отношению к браку при прокате аналогичного объема колес по технологии, при которой увеличение длины диска выпол-

нялось из металла, зарезервированного в ободе колесной заготовки. Реализация способа [1, 4, 6] на КПС горизонтального типа была сопряжена с выкаткой гребня при прокатке колеса.

На современных прессопрокатных линиях, оснащенных КПС вертикального типа, прокатывают колесные заготовки с уже подготовленным на формовочном прессе полномерным гребнем [2, 3, 5].

При этом раскатка заготовки по диаметру уменьшается по сравнению с прокаткой заготовок без гребня. В технической литературе отсутствует информация об исследовании этого процесса прокатки как на станах горизонтального типа, так и на станах вертикального типа.

Актуально на базе современных специализированных компьютерных программ выполнить разработку калибровок для условий современных прессопрокатных линий. В работе [7] разработана математическая модель основных параметров обода с гребнем колесной заготовки, штампуемой на формовочном прессе.

Модель предназначена для проектирования обода колесной заготовки, при прокатке которой исключается или ограничивается перетекание металла из обода в диск черного колеса.

На основе модели, разработанной в работе [7], актуально выполнить предварительные, а на базе специализированной компьютерной программы [3] — уточненные расчеты основных параметров обода, а также проектирование колесной заготовки, исключая перетекание металла из обода в диск черного колеса при его прокатке.

**Постановка задачи.** Поставлена задача выполнить проектирование колесной заготовки, штампуемой на формовочном прессе, исключая перетекание металла из обода заготовки в диск черного колеса диаметром 843 мм при его прокатке на современных прессопрокатных линиях, что направлено на устранение нестабильности процесса прокатки и уменьшение вероятности образования дефектов.

**Изложение материала.** Расчеты выполнялись для профиля черного колеса  $\varnothing 843$  мм с гофрированным диском, показанного на рисунке 1.

На рисунке 2 в окне специализированной компьютерной программы разработана калибровка для КПС с учетом частичного распрямления диска, соответствующий чертеж представлен на рисунке 3. На его основе выполняется проектирование колесной заготовки.

На основе модели, созданной в работе [7], выполним *предварительные расчеты основных параметров обода* колесной заготовки, исключая перетекание металла из обода в диск черного колеса при его прокатке.

Определение значений масс кольцевой и гребневой частей обода черного колеса, которые входят в исходную информацию на предварительном этапе расчетов осуществили с использованием компьютерной программы [3]. Результаты представлены на рисунке 4.

Исходная информация для предварительного расчета основных параметров обода с гребнем колесной заготовки на базе разработанной математической модели [7] представлена в таблице 1. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

С учетом захода контура поверхности обода в калибр при прокатке на КПС выполнено проектирование гребня (рис. 5).

В таблице 1 используются следующие обозначения:  $h_k$  — ширина кольцевой части заготовки;  $h_c$  — ширина гребневой части заготовки;  $m_k$  — масса кольцевой части обода черного колеса;  $m_c$  — масса гребневой части обода черного колеса;  $M_d$  — масса части обода колесной заготовки, зарезервированная для увеличения длины диска при его прокатке на КПС;  $S$  — площадь гребня;  $u_c$  — центр тяжести гребня колесной заготовки;  $\varphi$  — угол наклона наружной поверхности обода кольцевой части заготовки;  $Q^*$  — диаметр по внутренней поверхности кольцевой части обода с наружной стороны колесной заготовки;  $\rho$  — плотность металла.



**МЕТАЛЛУРГИЯ**

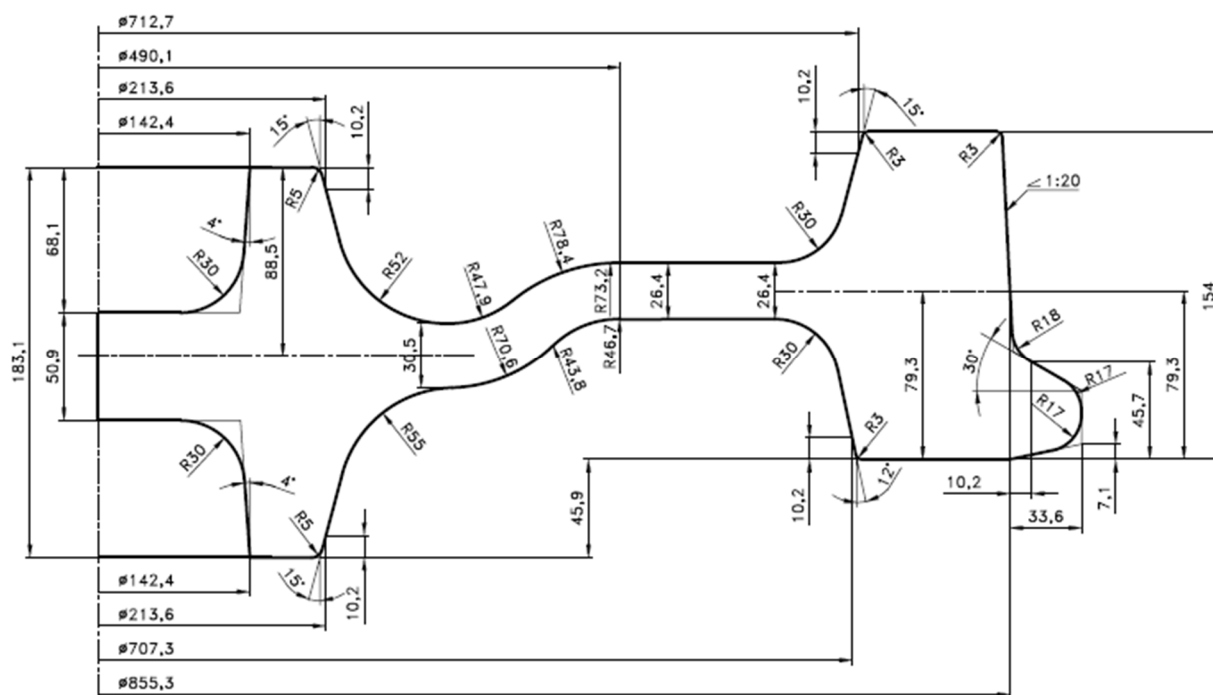


Рисунок 3 — Контур сечения чернового колеса диаметром 855 мм, прокатанного на колесопрокатном стане (калибровка для КПС)

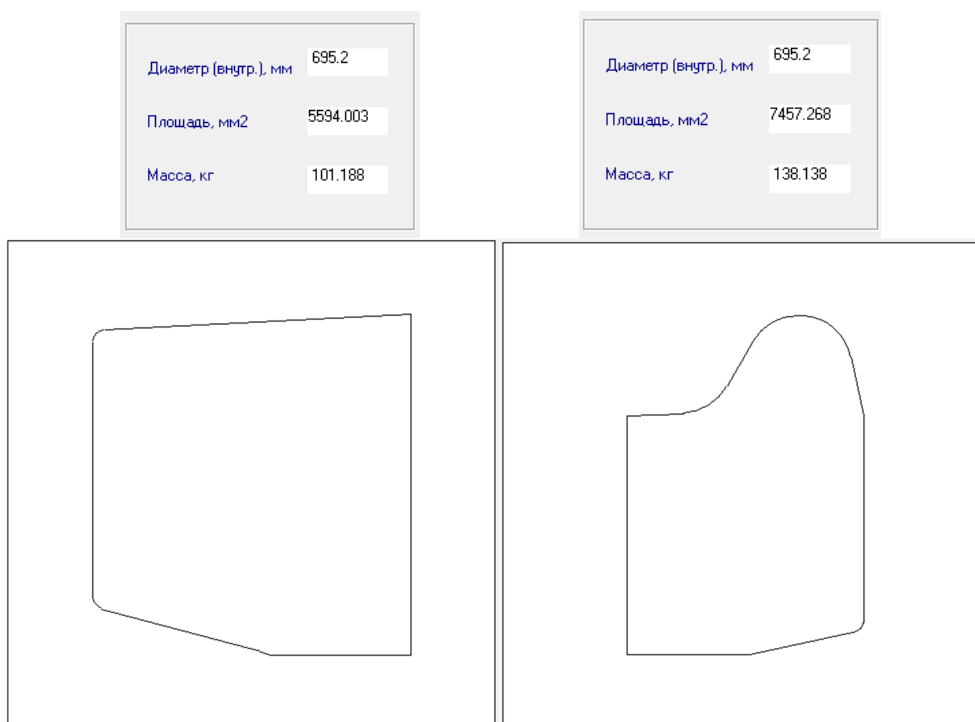
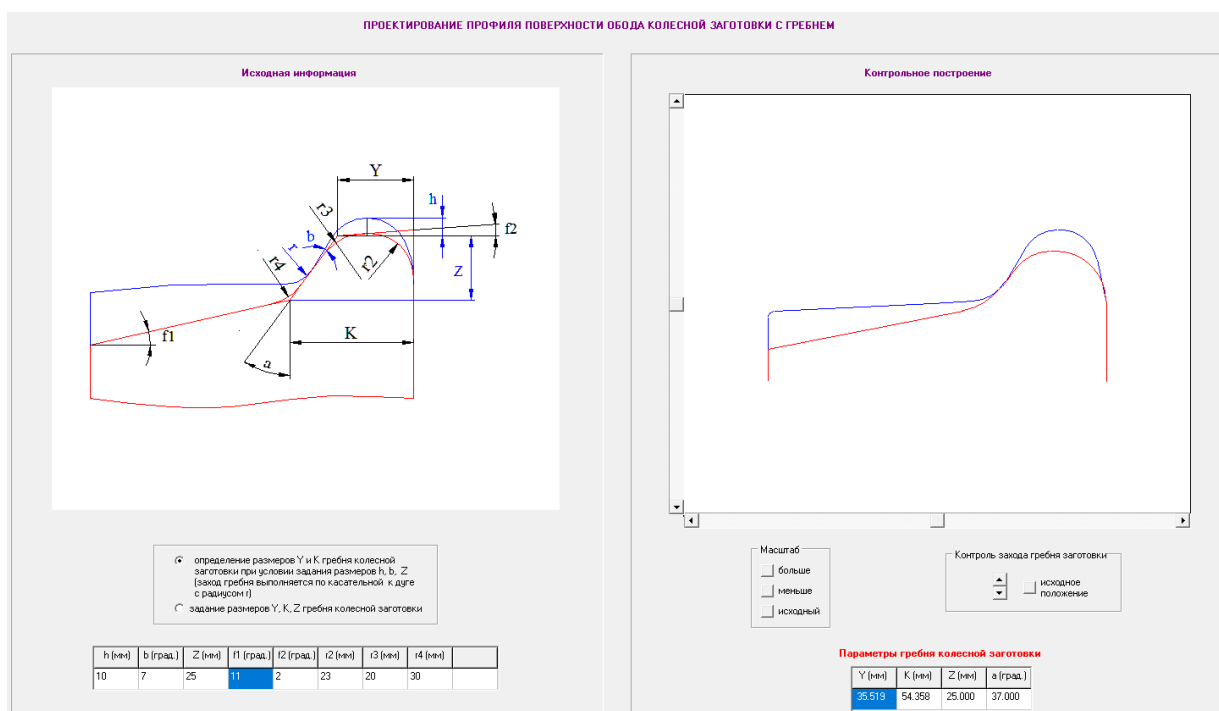
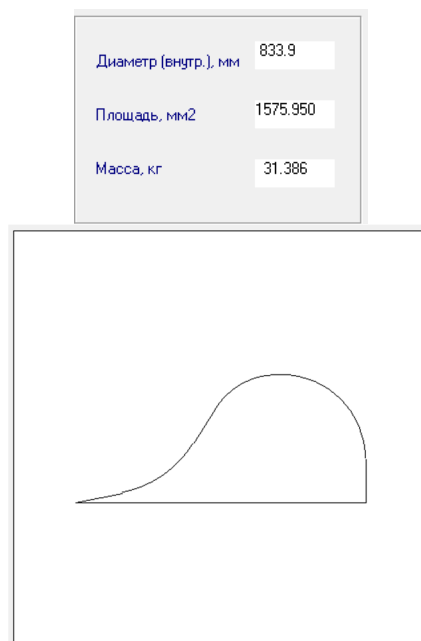


Рисунок 4 — Расчет масс частей обода чернового колеса диаметром 855 мм



а



б

Рисунок 5 — Проектирование контура поверхности обода колесной заготовки с гребнем (а) и расчет массы гребня (б) на базе компьютерной программы [3]

Таблица 1

Исходные данные

$h_{k2}$ , мм	$h_{z2}$ , мм	$m_{k2}$ , кг	$m_{z2}$ , кг	$M_{\theta}$ , кг	$S$ , мм <sup>2</sup>	$y_{ц2}$ , мм	$\varphi$ , рад	$Q^*$ , мм	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
74,7	79,3	101,2	138,1	0	1576	14,3	0,192	665	7350

Таблица 2

Результаты предварительного расчета основных параметров обода с гребнем колесной заготовки

$H_k$ , мм	$H_2$ , мм	$F$ , мм	$P$ , мм	$D$ , мм
77	80	69,5	682	833,9

**Уточненный расчет основных параметров обода** с гребнем колесной заготовки выполняется по методике [7] на базе специализированной компьютерной программы [3]. Окна программы показаны на рисунках 6 и 7.

Методика расчета предусматривает задание в верхней части окна программы, которое показано на рисунке 6, общего коэффициента вытяжки, соответствующего радиальному обжатию обода по профилю его поверхности и осевому обжатию обода.

Здесь же указывается коэффициент пропорциональности между коэффициентами вытяжек.

В нижней части окна в имеющейся таблице представлены результаты расчетов. Завершение этапа уточненных расчетов выполняется в окне программы, показанном на рисунке 7.

В соответствии с методикой [7], уточненное определение всей совокупности основных параметров обода с гребнем требует выполнения ряда повторных расчетов, которые завершаются после получения их значений, близких к полученным на предварительном этапе.

Достижение требуемого результата обеспечивается корректировкой значений коэффициентов вытяжки и пропорциональности. На рисунке 8 показан чертеж колесной заготовки, полученной в формовочном штампе (калибровка для формовочного пресса).

В таблице 3 приведены результаты уточненного расчета основных параметров обода колесной заготовки с предварительно подготовленным гребнем.

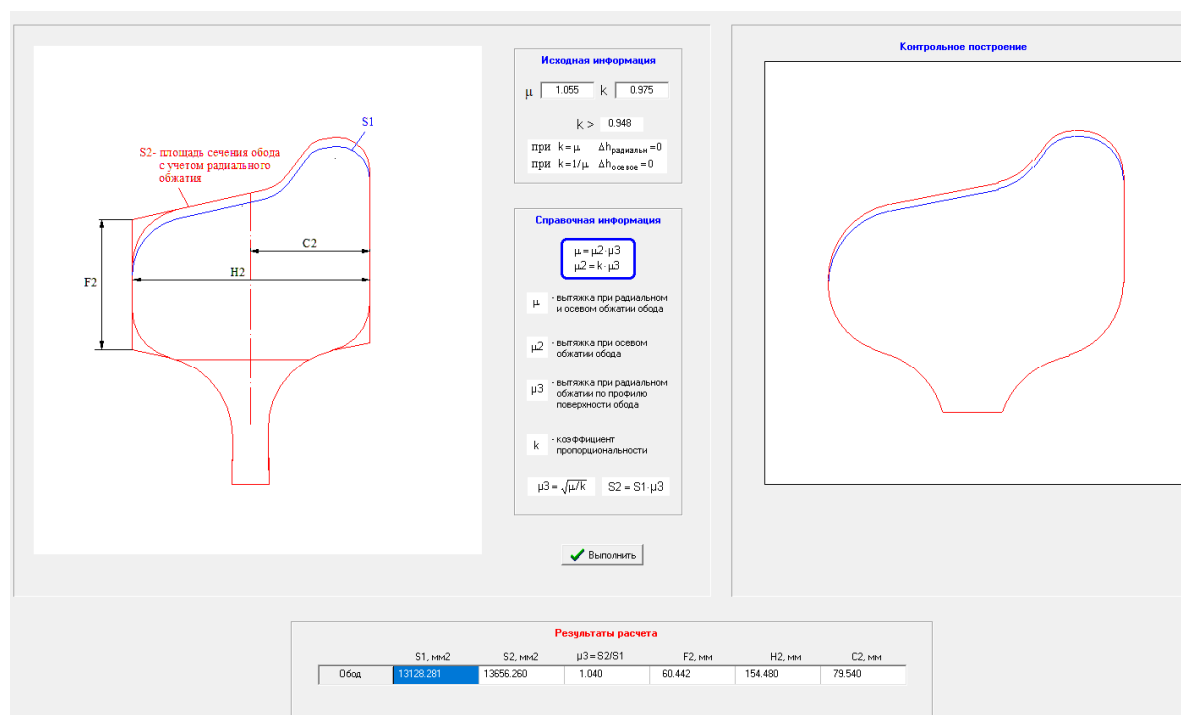


Рисунок 6 — Проектирование обода колесной заготовки с учетом его радиального обжатия в калибре нажимного вала

**МЕТАЛЛУРГИЯ**

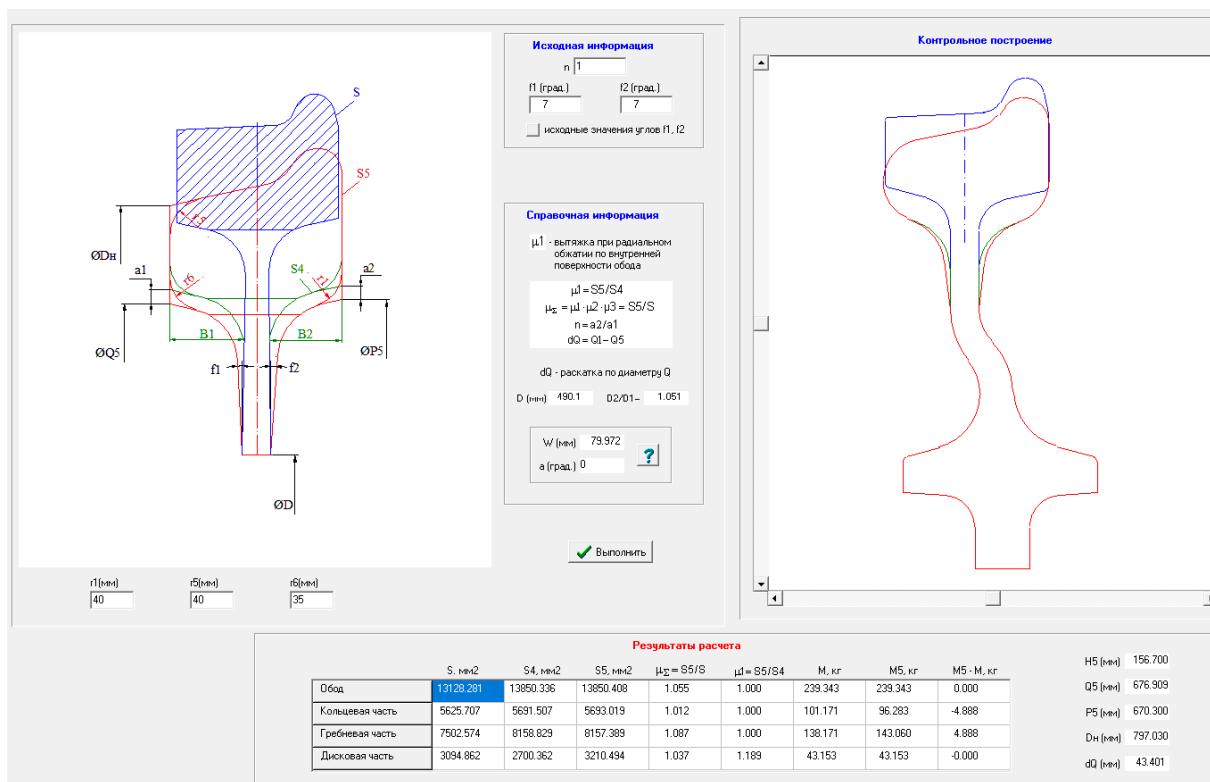


Рисунок 7 — Уточненный расчет основных параметров обода с гребнем колесной заготовки и проектирование калибровки для формовочного прессы

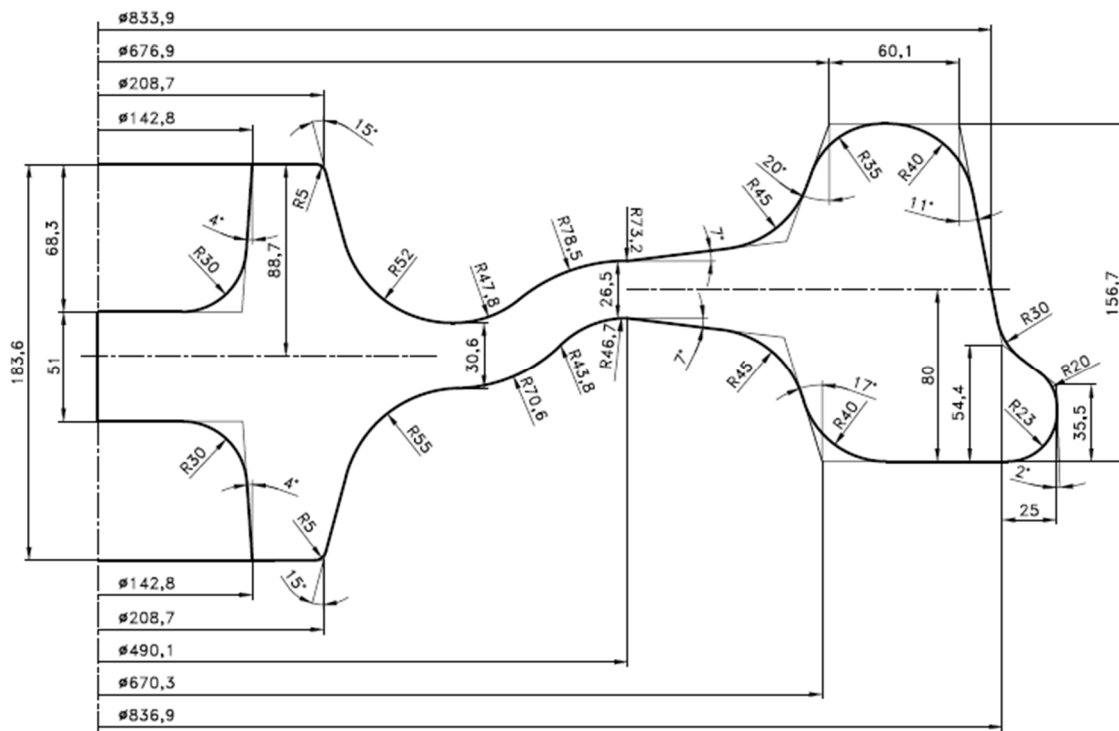


Рисунок 8 — Чертеж колесной заготовки, полученной в формовочном штампе (калибровка для формовочного прессы)

Таблица 3

Результаты уточненного расчета основных параметров обода с гребнем колесной заготовки

$H_k$ , мм	$H_z$ , мм	$F$ , мм	$Q$ , мм	$P$ , мм	$D$ , мм
76,7	80,0	60,1	676,9	670,3	826,9

Прокатка диска на КПС связана с увеличением его длины. При этом диаметр по наружной боковой поверхности обода также увеличился ( $\Delta d = D - d = 855,3 - 826,9 = 28,4$  мм).

Из результатов расчета, показанных на рисунке 7 и приведенных в таблице в нижней части окна программы, видно, что масса диска в спроектированной колесной заготовке ( $M_5 = 43,2$  кг) равна массе диска черного колеса после КПС ( $M = 43,2$  кг), что исключает перетекание металла из обода заготовки в диск колеса при его прокатке. То есть обод колеса прокатывается из обода колесной заготовки, а диск колеса прокатывается из диска колесной заготовки. При этом устраняется нестабильность процесса прокатки за счет исключения перетекания металла между существенно отличающимися частями колесной заготовки и колеса. Соответственно, уменьшается вероятность образования дефектов колеса.

**Выводы:**

1. Выполнены предварительные и уточненные расчеты основных параметров обода, а также проектирование колесной заготовки, исключающей перетекание металла между существенно отличающимися

элементами, такими как обод заготовки и диск черного колеса диаметром 843 мм, при его прокатке на современных прессо-прокатных линиях, что направлено на устранение нестабильности процесса прокатки и уменьшение вероятности образования дефектов.

2. Подтверждено научное значение усовершенствованной математической модели основных параметров обода с гребнем колесной заготовки (ширины кольцевой и гребневой частей заготовки; толщины кольцевой части обода колесной заготовки с наружной стороны колеса; диаметра по внутренней поверхности гребневой части обода с внутренней стороны колесной заготовки и диаметра по наружной боковой поверхности обода колесной заготовки, соответствующего оси диска и обода), штампуемой на формовочном прессе, которые при прокатке колеса обеспечивают исключение перетекания металла между существенно отличающимися элементами, такими как обод колесной заготовки и диск черного колеса.

Направление дальнейших исследований связано с использованием разработанной колесной заготовки в условиях промышленного производства.

**Список источников**

1. Яковченко А. В., Ивлева Н. И., Голышков Р. А. Проектирование профилей и калибровок железнодорожных колес : монография. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. 488 с.  
 2. Кушнарев А. В. Разработка научных основ и внедрение современной технологии производства железнодорожных колес с высокими эксплуатационными характеристиками : дис. ... док. техн. наук. Екатеринбург, 2014. 403 с. EDN ZJEANM  
 3. Снитко С. А., Яковченко А. В., Ивлева Н. И. Автоматизированное проектирование колес, калибровок, инструмента деформации и процессов в колесопрокатном производстве : монография. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. 348 с.  
 4. Шифрин М. Ю., Соломович М. Я. Производство цельнокатаных колес и бандажей. М. : Металлургиздат, 1954. 425 с.  
 5. Копперс У., Кунц М., Линденблатт М. Производство железнодорожных колес на высоком техническом уровне // Черные металлы. 2006. № 3. С. 75–79. EDN KUTJNN

6. Способ производства черновых железнодорожных колес : пат. 63472 Украина / А. В. Яковченко, А. В. Луговой ; № 2003043739 ; заявл. 15.04.2003 ; опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.

7. Яковченко А. В., Токарь А. А. Математическая модель основных параметров обода с гребнем колесной заготовки, штампуемой на формовочном прессе // Научные технологии и оборудование в промышленности и строительстве. 2025. Вып. 9 (83). С. 57–66. EDN KEUNHD

© Яковченко А. В., 2026

© Токарь А. А., 2026

Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. МТ ДонГТУ Куберским С. В.,  
к.т.н., проф. каф. МиС Северодонецкого технологического института  
ЛГУ им. В. Даля Денищенко П. Н.

Статья поступила в редакцию 26.02.2026.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Яковченко Александр Васильевич**, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник  
отдела теории управляющих систем  
Институт прикладной математики и механики,  
г. Донецк, Россия, e-mail: mond1991@mail.ru

**Токарь Алексей Александрович**, аспирант каф. металлургических технологий и материаловедения  
Донецкий национальный технический университет,  
г. Донецк, Россия

**Yakovchenko A. V.** (Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Donetsk, Russia, \*e-mail:  
mond1991@mail.ru), **Tokar' A. A.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia)

#### DESIGN OF THE WHEEL BLANK THAT PREVENTS METAL FLOWING FROM THE RIM TO THE DISC OF A ROUGH WHEEL DURING ITS ROLLING

The design of the wheel blank was carried out on the basis of a developed mathematical model of the main parameters of the rim with a flange and a specialized computer program. Preliminary and refined calculations of the main rim parameters were performed, as well as the design of a wheel blank that eliminates the metal flow between significantly different elements, such as the rim of the blank and the disk of a rough wheel with a diameter of 843 mm, during its rolling on modern press-rolling lines, which is aimed at eliminating instability of the rolling process and reducing the likelihood of defects.

**Key words:** rough railway wheel, wheel blank with flange, mold press, wheel-rolling mill, calibration, mathematical model, one-purpose computer programs.

**Funding:** the work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia for the Federal State Budgetary Scientific Institution "IAMM" (theme № FREM-2026-0006).

#### References

1. Yakovchenko A. V., Ivleva N. I., Golyshkov R. A. Design of railway wheel profiles and calibrations : a monograph [Proektirovanie profilej i kalibrovok zheleznodorozhnyh koles : monografiya]. Moscow ; Vologda : Infra-Inzheneriya. 2023. 488 p.

2. Kushnarev A. V. Development of scientific foundations and implementation of modern technology for the production of railway wheels with high performance characteristics : thesis ... Doctor of Technical Sciences [Razrabotka nauchnyh osnov i vnedrenie sovremennoj tekhnologii proizvodstva zheleznodorozhnyh koles s vysokimi ekspluatacionnymi harakteristikami : dis. ... dok. tekhn. nauk]. Ekaterinburg. 2014. 403 p. EDN ZJEANM

3. Snitko S. A., Yakovchenko A. V., Ivleva N. I. *Automated design of wheels, calibrations, deformation tools and processes in wheel rolling production : a monograph [Avtomatizirovannoe proektirovanie koles, kalibrovok, instrumenta deformacii i processov v kolesoprokatnom proizvodstve : monografiya]*. Moscow ; Vologda : Infra-Inzheneriya. 2023. 348 p.

4. Shifrin M. Yu., Solomovich M. Ya. *Production of wrought wheels and tires [Proizvodstvo cel'nokatanyh koles i bandazhej]*. M. : Metallurgizdat. 1954. 425 p.

5. Koppers U., Kunc M., Lindenblatt M. *Production of railway wheels at a high technical level [Proizvodstvo zheleznodorozhnyh koles na vysokom tekhnicheskom urovne]*. Chernye metally. 2006. No. 3. Pp. 75–79. EDN KUTJNN

6. *Method of production of railway wheels : Pat. 63472 Ukraine. Yakovchenko A. V., Lugovoj A. V. No. 2003043739 ; Submitted 15.04.2003 ; Published 15.01.2004. Bulletin No. 1.*

7. Yakovchenko A. V., Tokar' A. A. *Mathematical model of the main parameters of a rim with a flange of a wheel blank stamped on a molding press [Matematicheskaya model' osnovnyh parametrov oboda s grebnem kolesnoj zagotovki, shtampuemoj na formovochnom presse]*. Knowledge-intensive technologies and equipment in industry and building. 2025. Iss. 9 (83). Pp. 57–66. EDN KEUNHD

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

***Yakovchenko Aleksandr Vasilievich***, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leader Researcher of the Department of Control System Theory  
Institute of Applied Mathematics and Mechanics,  
Donetsk, Russia, e-mail: mond1991@mail.ru

***Tokar' Aleksey Aleksandrovich***, Postgraduate of the Department of Metallurgical Technologies and Materials Science  
Donetsk National Technical University,  
Donetsk, Russia