

**СТАТУС СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ ДЛЯ УРФО  
И РАЗВИТИЯ ЕГО МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ  
И ВНЕШНЕТОРГОВЫХ СВЯЗЕЙ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ  
КАБЕЛЬНОГО ПЛАНА СТАНЦИИ  
С ПОМОЩЬЮ ПОРОЖДАЮЩЕЙ  
КОНТЕКСТНО-СВОБОДНОЙ ГРАММАТИКИ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ  
В ВАГОНАХ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СЫПУЧЕСТИ  
СМЕРЗШИХСЯ ГРУЗОВ КОНВЕКТИВНЫМ РАЗОГРЕВОМ**

**ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ  
ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ**



## МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. Александр Ефимов, профессор, главный редактор журнала «Транспорт Урала», Екатеринбург, Россия
2. Александер Сладковски, д-р техн. наук, профессор, Силезский технический университет, Польша
3. Эдуард Горкунов, д-р техн. наук, профессор, членкор. РАН, Россия
4. Аксель Шмидер, д-р, «Сименс АГ», отраслевой сектор, департамент транспорта «Железнодорожное строительство», Эрланген, Германия
5. Эрки Хамалайнен, доктор эконом. наук, университет Аалто, Школа экономики, Финляндия
6. Валерий Доманский, д-р техн. наук, профессор Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Асадченко Виталий Романович, д-р техн. наук, профессор, научный редактор, Екатеринбург
2. Галиев Ильхам Исламович, д-р техн. наук, профессор, Омск
3. Грицык Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, Ростов
4. Козлов Петр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
5. Комаров Константин Леонидович, д-р техн. наук, профессор, Новосибирск
6. Лапшин Василий Федорович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
7. Ларин Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Челябинск
8. Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербург
9. Резник Леонид Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, Тюмень
10. Румянцев Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, с.н.с., Екатеринбург
11. Сай Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора, Екатеринбург
12. Смольянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
13. Туранов Хобибулла Туранович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
14. Умняшкин Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Ижевск
15. Хоменко Андрей Павлович, д-р техн. наук, профессор, Иркутск

**Выпускающий редактор** Неверова Людмила Васильевна.

Контактные телефоны: (343) 373-07-41, 245-01-34, 245-31-88  
e-mail: lneverova@nis.usurt.ru, lneverova@eka-net.ru

## INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

1. Alexander Efimov, professor, editor-in-chief of the journal «Transport of the Ural», Ekaterinburg, Russia
2. Aleksander Sladkowski, professor, Silesian University of Technology, Poland
3. Eduard Gorkunov, DSc, professor, corresponding member of Russian Academy of Sciences, Russia
4. Axel Schmieder, DSc, Siemens AG, Industry Sector, Mobility Division, Transportation Engineering, Erlangen, Germany
5. Erkki Hamalainen, DSc, Aalto University School of Economics, Finland
6. Valery Domansky, DSc, professor of National technical University «Kharkiv politechnical institute», Kharkiv, Ukraine

## EDITORIAL BOARD

1. Asadchenko Vitaly Romanovich, DSc, professor, scientific editor, Ekaterinburg
2. Galiev Ilkham Islamovich, DSc, professor, Omsk
3. Gritsyk Valery Ivanovich, DSc, professor, Rostov
4. Kozlov Petr Alekseevich, DSc, professor, Moscow
5. Komarov Konstantin Leonidovich, DSc, professor, Novosibirsk
6. Lapshin Vasily Fedorovich, DSc, professor, Ekaterinburg
7. Larin Oleg Nikolaevich, DSc, professor, Chelyabinsk
8. Ledyayev Alexandr Petrovich, DSc, professor, Saint-Petersburg
9. Reznik Leonid Grigorievich, DSc, professor, Tumen
10. Rumyantsev Sergey Alekseevich, DSc, senior staff scientist, Ekaterinburg
11. Say Vasily Mikhailovich, DSc, professor, deputy editor-in-chief, Ekaterinburg
12. Smolyaninov Alexandr Vasilievich, DSc, professor, Ekaterinburg
13. Turanov Khabibula Turanovich, DSc, professor, Ekaterinburg
14. Umnyashkin Vladimir Alekseevich, DSc, professor, Izhevsk
15. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk

**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА**

Литовский В.В. / Статус Северного морского пути для УрФО и развития его межрегиональных и внешнеэкономических связей..... 3

Булавский П.Е., Горбачев А.М. / Автоматизация представления кабельного плана станции с помощью порождающей контекстно-свободной грамматики..... 8

Бессоненко С.А. / Расчетные сочетания отцепов для проектирования сортировочных горок..... 13

Казаков А.Л., Журавская М.А., Лемперт А.А. / Вопросы сегментации логистических платформ в условиях становления региональной логистики ..... 17

Якунин Н.Н., Мячкова С.В. / Обоснование требований к рациональной структуре парка подвижного состава автотранспортного предприятия ..... 21

Сладковский А.В., Рубан В.Н. / Проектирование сборных фасонных фрез для восстановительного ремонта поверхности катания колесных пар локомотивов на станках КЖ20..... 27

Шварцфельд В.С., Никитин А.В., Едигарян А.Р. / Проблемы совершенствования методов инженерно-геодезических изысканий для развития инфраструктуры мультимодальных транспортных коридоров..... 32

Силуков Ю.Д. / Влияние износа шероховатости покрытия автомобильных дорог на сцепление колес транспорта ..... 36

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ**

Неволин Д.Г., Жайворонская О.Ю. / Оптимизация системы мониторинга сетей технологической связи на железнодорожном транспорте..... 38

Неволин Д.Г., Жайворонская О.Ю. / Ранговая оценка показателя качества мониторинга технологической связи ..... 42

**ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА Поездов**

Матяш Ю.И., Громов А.Ю. / Количественная оценка степени влияния скорости подвижного состава на величину перегрева крыши пассажирского вагона под воздействием солнечной радиации ..... 45

Овчаренко С.М., Корнеев П.С. / Моделирование затрат мощности и дизельного топлива на привод вспомогательного оборудования тепловозов..... 48

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ТРАНСПОРТА**

Шумаков К.Г., Вербицкий В.А., Галкин А.Г., Штин А.Н. / Надежность схемы распределения питающего напряжения подстанции на ответвлениях без перемычки..... 52

**ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО**

Павлюков А.Э., Занкович А.В., Середя А.Б. / Исследование тепловых процессов в вагонах при восстановлении сыпучести смерзшихся грузов конвективным разогревом ..... 56

Туранов Х.Т., Черепов О.В., Иргашев К.К. / Математические модели пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона с упруго-катковыми скользунгами..... 62

Битюцкий Н.А. / Анализ эксплуатационной надежности специализированных вагонов-цистерн для перевозки сжиженных углеводородных газов ..... 67

**АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ. ТРАКТОРЫ.**

Охотников Б.Л., Егоров В.Н. / Обоснование параметров устройства для соединения трактора с прицепом и перераспределения гидросистемой нагрузок между осями тракторного транспортного агрегата ..... 72

Охотников Б.Л., Егоров В.Н. / Использование пропашных колесных тракторов на транспортных работах ..... 75

**GENERAL TRANSPORT PROBLEMS**

Litovsky V.V. / The status of Northern sea way for Ural federal district and development of its inter-regional and foreign trade communications.... 3

Bulavsky P.E., Gorbachev A.M. / Introduction automation of station's cable plan with the help of generative context-free grammar ..... 8

Bessonenko S.A. / Calculated combinations of cuts for gravity yards design..... 13

Kazakov A.L., Zhuravskaya M.A., Lempert A.A. / The problems of logistic platforms segmentation in the conditions of regional logistics development ..... 17

Yakunin N.N., Myachkova S.V. / The creations of the requirements for the rational structure of the auto transport into auto transport's company ..... 21

Sladkowski A.V., Ruban V.N. / Interlocking shaped cutter design for repair of locomotives' wheel pairs roll surface on the machines KZh20..... 27

Shvarcfeld V.S., Nikitin A.V., Edigaryan A.R. / Problems of perfection of methods engineering-geodetic surveys for development of multimodal transport corridors infrastructure ..... 32

Silukov Y.D. / Influence of surface roughness wear of motor roads on the transport wheels' grip..... 36

**RAILWAY AUTOMATION AND TELEMECHANICS**

Nevolin D.G., Zhaivoronskaya O.Yu. / Optimization of monitoring system of technological communications network on railway transport ..... 38

Nevolin D.G., Zhaivoronskaya O.Yu. / Rank estimation of readiness coefficient of technological communication monitoring..... 42

**ROLLING STOCK AND TRACTION**

Matyash Y.I., Gromov A.Yu. / Quantitative estimation of rolling stock speed influence degree on a passenger railway car roof overheat value under the solar radiation effect ..... 45

Ovcharenko S. M., Korneev P. S. / Power and diesel fuel expenses modelling on the drive of diesel locomotives accessory equipment ..... 48

**ELECTRIC SUPPLY OF TRANSPORT**

Shumakov K.G., Verbitskiy V.A., Galkin A.G., Shtin A.N. / Reliability of the scheme of the switching center of substation supplying voltage on branches without a jumper ..... 52

**RAILWAY CARS AND FACILITIES**

Pavlyukov A.E., Zankovich A.V., Sereda A.B. / The research of thermal processes in railway cars at frozen loads flowability recovery by convective heating ..... 56

Turanov K.T., Cherepov O.V., Irgashev K.K. / Mathematical models of spring-friction set of freight car bogie ..... 62

Bityutskiy N.A. / The analysis of operational dependability of specialized tank-cars to transport condensed hydrocarbon gases..... 67

**MOTOR TRANSPORT. TRACTORS.**

Okhotnikov B.L., Egorov V.N. / Parameters' justification of a device for coupling a tractor with a trailer and hydrosystem load transfer between the axes of tractor-transport unit ..... 72

Okhotnikov B.L., Egorov V.N. / Use of tractors' cultivated wheels at transport works ..... 75

УДК 629.4.083:621.9.025.11

**Александр Валентинович Сладковский, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой логистики и промышленного транспорта, факультет транспорта (Силезский технический университет),  
Владислав Николаевич Рубан, ассистент кафедры прикладной механики Национальной металлургической академии Украины (НМетАУ)**

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРНЫХ ФАСОННЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ НА СТАНКАХ КЖ20

**Alexander V. Sladkowski, DSc, professor, Head of Logistics and industrial transport department, Transport Faculty, Silesian University of Technology  
Vladislav N. Ruban, assistant of Applied mechanics department of National metallurgical academy of Ukraine (NMetAU)**

### Interlocking shaped cutter design for repair of locomotives' wheel pairs roll surface on the machines KZh20

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы проектирования инструмента для колесофрезерных станков типа КЖ20. Известно, что применение новых профилей, например ДМетИ, позволяет уменьшить износ колесных пар локомотивов. При этом основным инструментом для ремонтной обточки колесных пар являются специальные фасонные фрезы. Статья посвящена вопросам автоматизированного проектирования таких фрез. Предлагается с этой целью использовать программный комплекс SolidWorks. Выполняется также моделирование напряженного состояния отдельных деталей фрез при помощи встроенного модуля COSMOSXpress.

Использование предложенной методики позволит усовершенствовать конструкцию фасонных фрез, повысить их надежность и долговечность, а также обеспечить обработку колесных пар локомотивов на новые профили поверхности катания с повышенной чистотой обработки их поверхности.

**Ключевые слова:** колесофрезерные станки КЖ20, фасонные фрезы, SolidWorks, напряженное состояние, COSMOSXpress.

#### Annotation

In the article there are viewed the issues of tool design for wheel milling machines of type KZh 20. It is known that application of new profiles, for example DMetI allows to decrease locomotives' wheel pairs' wear. The main tool for wheel pairs' repair turning is special shaped cutter. The article is devoted to the problems of such cutters automated design. There is offered the use of the program complex SolidWorks. There is also performed tension state simulation of some cutters' details with the help of embedded module COSMOSXpress.

The use of the offered method will allow to improve the construction of shaped cutters, to increase their reliability and durability and also to provide locomotives' wheel pairs' treatment to roll surface's new profiles with the higher processing frequency of their surface.

**Key words:** Wheel milling machines KZh20, shaped cutter, SolidWorks; tension state, COSMOSXpress.

Проблема износа вагонных и локомотивных колес на протяжении более 20 лет остается актуальной проблемой для железных дорог на постсоветском пространстве. В ряде работ разных исследователей назывались причины этого явления. В данной статье авторы не ставят своей задачей обсуждать эти причины. Тем не менее следует отметить, что значительные потери экономика несет не только от обычного, но и от «технологического» износа колес. Этот термин появился в работах ученых петербургской школы технологов. Под таковым явлением И.А. Иванов, С.В. Урушев и другие понимают непроизводительные потери колесной стали, которые имеют место при ремонтном восстановлении колесных пар.

Если для вагонных колесных пар во всем мире в основном используется одна технология — токарная обработка, то для локомотивов — два способа обработки без выкатки колесных пар: токарный и фрезерный. Сложилось исторически, что в большинстве европейских стран применяется токарная обработка, например, на станках фирмы RAFAMET UGD-150N или UGE-150N [1]. ООО «Рязанский станкостроительный завод» производит аналогичный станок модели РТ90801 [2]. Тем не менее для большинства колесных пар, обрабатываемых без их выкатки из-под локомотива, используется фрезерная обработка. Разработчиками указанной технологии были американские фирмы. По аналогии с колесофрезерными станками американского производства в СССР был создан и выпускался на протяжении многих лет ряд моделей станков типа КЖ20. В данных станках применяются специальные фасонные фрезы, которые являются высокотехнологической продукцией, использующей для резания твердосплавные резцы (чашки). Их количество отличается для разного типа фрез, а также зависит от того, для какого профиля поверхности катания предназначена фреза.

Одним из способов снижения износа колесных пар является использование перспективных профилей колес вагонов и

локомотивов. Очевидно, что такой подход должен быть комплексным, т. е. профили колес и рельсов должны быть согласованы по ряду критериев, например, таким, как динамика подвижного состава или напряженное состояние приконтактной зоны. Отметим, что подобные проблемы стоят не только для стран СНГ, но и для ряда других стран с развитой железнодорожной инфраструктурой. Например, в статье [3] разработан ряд новых профилей колес и рельсов для железных дорог США.

Аналогичный подход был использован в 80 — 90-е годы прошлого века для разработки новых профилей вагонных и локомотивных колес, которые доказали свою эффективность на магистральном и промышленном транспорте бывшего СССР. Указанные профили получили общее название «профили ДМетИ» (Днепропетровский металлургический институт, в настоящее время НМетАУ — Национальная металлургическая академия Украины). После многолетних испытаний они были допущены для повсеместной эксплуатации и вошли в ряд руководящих документов железнодорожного транспорта, например в инструкцию [4].

Освоение технологии восстановительного ремонта колесных пар локомотивов с использованием профилей ДМетИ заняло несколько лет. Первым в СНГ серийный выпуск фрез для обработки колесных пар локомотивов с данным профилем освоил Невьянский механический завод [5]. Совместно с группой разработчиков НМетАУ здесь также было освоено производство фрез с другими профилями.

Тем не менее при фрезерной обработке колесных пар чистота обработки поверхности колес и точность выполнения профиля оставляют желать лучшего. Например, «законодатель моды» в данном вопросе фирма Simmons Machine Tool Corporation производит фрезы для станков TN-84С, для которых точность выполнения профиля составляет 0,25 мм [6]. К сожалению, точность и чистота обработки поверхности для станков КЖ20 еще ниже.

Указанные недостатки фрезерной обработки на станках КЖ20, которые в условиях эксплуатации многократно увеличиваются из-за проблем с поддержанием работоспособности фрез в деповских условиях, могут быть решены только при помощи усовершенствования конструкции фрез. Авторами статьи [5] при разработке фрез была сделана попытка автоматизировать процесс расчета координат и углов наклона отдельных чашек. Для этого была разработана вычислительная программа, написанная на алгоритмическом языке MS QuickBASIC Extended. Указанная программа позволяла распределять резцы для каждого из ножей (резцедержателей) фрезы, а также для определения проектируемой чистоты обработки показать графически расположение всех резцов одновременно. К сожалению, графические возможности моделирования расположения резцов при помощи указанной программы являются весьма ограниченными. Данная программа не позволяла проанализировать возможности увеличения количества ножей, что могло бы способствовать повышению точности воссоздания профиля и чистоты обработки поверхности колес.

Важнейшей проблемой при проектировании новых конструкций фрез является увеличение срока их службы. Указанные фрезы используются не только для магистраль-

ного транспорта, но и в локомотивном хозяйстве промышленного транспорта. При этом обычно срок службы такого инструмента на промтранспорте существенно меньше. Это обусловлено более сложными условиями эксплуатации локомотивных колес, что, в свою очередь, приводит к их преждевременному износу с появлением ползунов, наваров и прочих дефектов, которые требуют особых режимов фрезерной обработки колесных пар. Например, в условиях работы горно-металлургического комплекса межремонтный срок службы сборных фасонных фрез составляет 3 — 6 месяцев. После чего потребуется ремонт с заменой ножей, твердосплавных резцов и кропотливая работа по настройке фрезы по соответствующему профилю поверхности катания.

Наиболее существенным фактором обеспечения долговечности фрез является прочность и надежность их конструкции. Стремление к повышению чистоты обработки ведет к уменьшению расстояния между отдельными чашками в ноже. Это ослабляет металлические перегородки между соседними чашками, а в условиях циклических нагрузок, воздействующих на данные резцы, способствует ослаблению посадки чашки в ее отверстия, что может приводить к разрушению как отдельных чашек, так и ножа в целом.

Использование для проектирования фрез современных систем автоматизированного проектирования и конструирования изделий (САПР) может устранить эти недостатки. Применение указанных программных продуктов позволяет существенно сократить время выхода изделия на рынок, повысить качество и в конечном счете конкурентоспособность выпускаемой продукции. Среди ряда доступных средств CAD была выбрана конструкторская система SolidWorks. Выбор этот был обусловлен, с одной стороны, большими возможностями проектирования, которыми обладает данная система, а с другой — благодаря относительно простому и понятному интерфейсу пользователя. Еще одним преимуществом рассматриваемой системы является интегрирование в нее модулей, позволяющее провести анализ напряженно-деформированного состояния изделий при помощи метода конечных элементов (МКЭ). Это возможно осуществить с использованием модуля COSMOSWorks.

Сборная фасонная фреза для ремонтного восстановления профиля поверхности катания колеса подвижного состава машин рельсового транспорта состоит из корпуса со вставными ножами фасонного профиля, где по винтовой линии установлены сменные цилиндрические твердосплавные резцы, режущие кромки которых расположены по профильной линии ножа, отвечающей профилю поверхности катания колеса.

Конструкция сборной фасонной фрезы должна быть такой, чтобы каждый цилиндрический твердосплавный резец обрабатывал новый участок рабочей поверхности профиля катания локомотивного колеса при восстановительном ремонте на станке КЖ20. Однако именно это требование и создает значительные сложности при проектировании и изготовлении сборных фасонных фрез. Провести расчет фрезы вручную достаточно затруднительно. С учетом указанных недостатков на кафедре «Прикладная механика» НМетАУ был разработан проект, который позволит увеличить срок службы и межре-

монтажный период работы сборных фасонных фрез и поверхности катания колесных пар локомотивов.

На первом этапе моделирования задается геометрия профиля локомотивного колеса, которая должна появиться после обработки его поверхности катания. На следующем этапе моделирования по заданным значениям габаритных размеров корпуса сборной фасонной фрезы и параметров цилиндрического и конического хвостовиков проектируется заготовка (рис. 1). САПР позволяет визуально контролировать результаты конструирования путем построения трехмерной модели в процессе выполнения каждого этапа в системе SolidWorks.

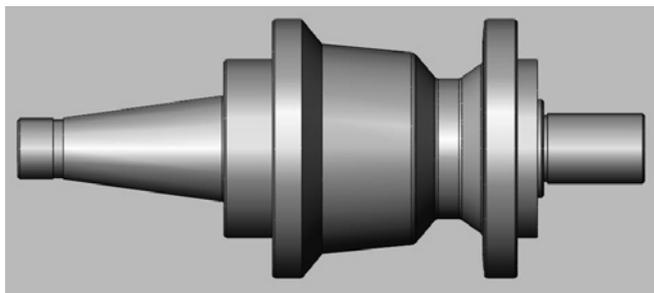


Рисунок 1 — Трехмерная модель заготовки корпуса фасонной фрезы

Далее задаются геометрические параметры шпоночного паза на цилиндрическом хвостовике, пазов для передачи крутящего момента, а также пазов, в которых непосредственно будут располагаться ножи. Количество пазов под ножи, их глубина и ширина, угол их наклона относительно оси корпуса задаются в зависимости от условий резания [7]. Программа SolidWorks позволяет моделировать технологические операции, которые выполняются на экране монитора с заготовкой корпуса фрезы, так, как это бы происходило при помощи технологических операций точного фрезерования, точения, сверления и т. д. На рис. 2 показана модель корпуса после выполнения указанных выше операций.

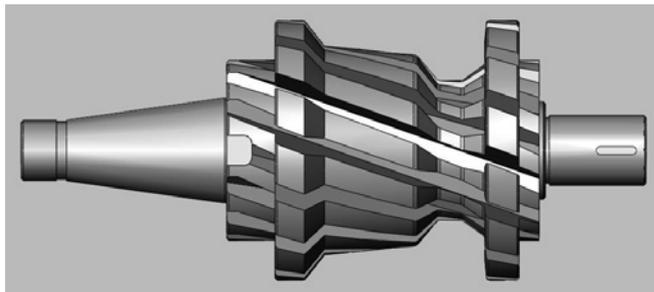


Рисунок 2 — Модель корпуса фасонной фрезы с пазами под ножи

Затем производится формирование пазов для клиньев, резьбовых отверстий под крепление ножей и фиксирующих колец (рис. 3). Ножи крепятся в корпусе при помощи двух болтовых соединений с корпусом фрезы. Тем не менее это крепление недостаточно. Для более надежного крепления ножей предусматриваются дополнительные клинья, которые прижимают каждый нож к стенке паза, выполненного в кор-

пусе. В зависимости от технологической оснастки производства клинья могут быть разной геометрической формы, как и их пазы в корпусе. Один из вариантов выполнения пазов под клинья показан на рис. 3.

Далее в соответствии с выбранным профилем поверхности катания колесных пар выполняется моделирование заготовки ножей. Геометрические размеры находятся в зависимости от размеров пазов в корпусе. Если перед авторами проекта стоит задача увеличения количества ножей для фрезы, что может способствовать улучшению чистоты обработки поверхностей, следует вносить изменения в конструкцию как корпуса фрезы, так и заготовок ножей. Проектировщик в данном случае ограничен весовыми характеристиками фрезы, ее габаритными размерами, а также соображениями прочности ее конструкции. Увеличение количества ножей, которое было бы целесообразно с точки зрения качества обработки, если оставлять неизменной конструкцию заготовки ножей, приводит к существенному увеличению диаметра фрезы, ее массы, а также момента на приводном валу станка. Подобные решения являются спорными и должны рассматриваться отдельно для каждой предлагаемой конструкции. При этом обязательно должен выполняться прочностной расчет, позволяющий оценить напряженно-деформированное состояние всех элементов фрезы.

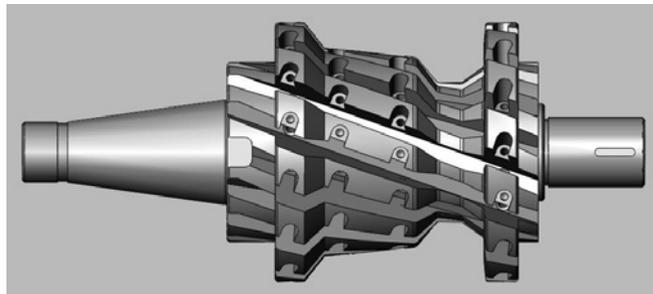


Рисунок 3 — Модель корпуса фрезы с пазами под ножи и пазами под клинья

Согласно технологии изготовления фрез, сначала в заготовках ножей выполняются отверстия под чашки, потом ножи устанавливаются в пазы корпуса в строго определенном порядке и маркируются в соответствии с номерами пазов. Затем левое (базовое) кольцо и правое кольцо крепятся к корпусу винтами. Далее выполняется токарная обработка собранной фрезы, при которой проводится так называемое «вскрытие ножей». Это достаточно ответственная операция, поскольку при неправильном монтаже и чрезмерном вскрытии ослабевают посадочные места отдельных чашек, что может приводить к их выкрашиванию. Недостаточное вскрытие ножей также плохо, поскольку в этом случае может происходить наволакивание металла колеса на элементы фрезы (ножи), что ухудшает качество обработки рабочей поверхности колес. Последней технологической операцией, проводимой над ножами, установленными в корпусе, является удаление заусенцев металла, которые обязательно появляются при операции вскрытия.

При моделировании производства отдельных элементов фрез с использованием пакета SolidWorks авторы несколько

отступили от порядка выполнения реальных технологических операций, проводя сначала «обточку» ножей по заданному профилю, в результате чего получается заготовка, единая для всех ножей (рис. 4), а уже потом в готовой заготовке ножа, в зависимости от диаметра и высоты цилиндрических твердосплавных резцов, фрезеруются отверстия. Каждое отверстие под цилиндрический твердосплавный резец имеет свои две координаты  $X$  и  $Y$ , глубину  $h$  и угол наклона  $\alpha$ . На рис. 5 в качестве примера показан нож № 1.

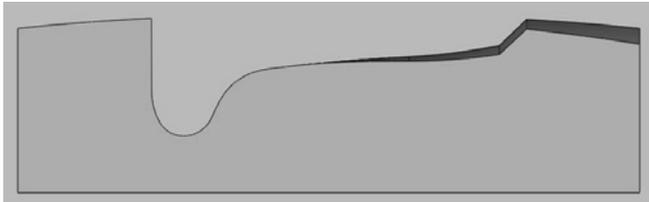


Рисунок 4 — Модель заготовки ножа

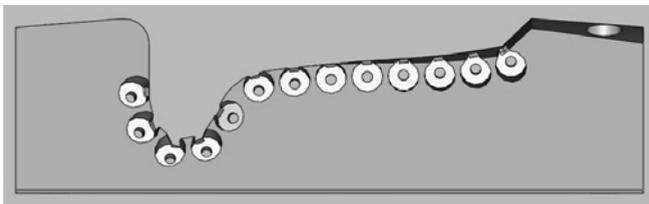


Рисунок 5 — Трехмерная модель ножа № 1

В зависимости от выбранных геометрических размеров ножей и цилиндрических твердосплавных резцов проектируются крепежные элементы или выбираются из библиотеки стандартных крепежных изделий в случае, если применены стандартные цилиндрические твердосплавные резцы. Последовательно из готовых элементов комплектуем каждый нож. При этом твердосплавные резцы устанавливаются в отверстия, а далее закрепляются при помощи болтового соединения (винт со специальной головкой под отверстие в чашке, гайка, шайба), как это показано на рис. 6.

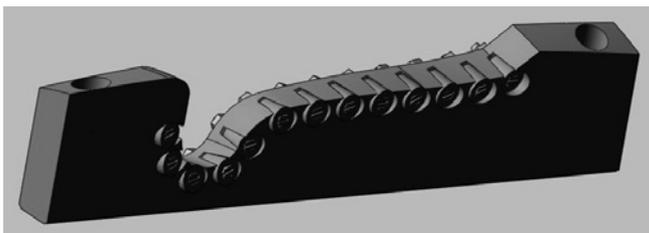


Рисунок 6 — Модель ножа № 1 в сборе

Последним этапом является окончательная сборка фасонной фрезы. При этом в корпусе закрепляются винтами фиксирующие кольца. Последовательно устанавливаются ранее собранные ножи и фиксируются в корпусе винтами. Указанные винты фиксируют ножи в вертикальном направлении. В горизонтальном (осевом) направлении ножи фиксируются установочными винтами, которые прижимают ножи к базовому кольцу. После чего устанавливаются клинья в пазы, прижимая ножи к корпусу фрезы и фиксируя их в окружном на-

правлении. Такое крепление ножей обеспечивает их точное расположение в корпусе и работоспособность фрезы под воздействием циклических нагрузок. На рис. 7 показана модель фасонной фрезы в сборе.

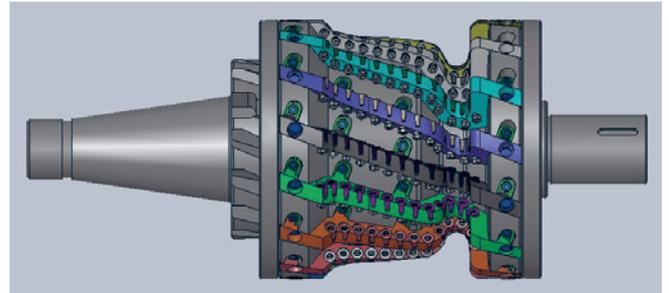


Рисунок 7 — Трехмерная модель фасонной фрезы в сборе

Для исследования напряженно-деформированного состояния элементов модели был использован модуль COSMOSXpress, интегрированный в CAD-систему SolidWorks, в котором результаты анализа проектирования базируются на линейном статическом анализе при помощи МКЭ. В качестве примера на рис. 8 и 9 представлены результаты расчета напряженного состояния (эквивалентные напряжения в соответствии с критерием Губера — Мизеса — Генки) для твердосплавного резца и корпуса фрезы.

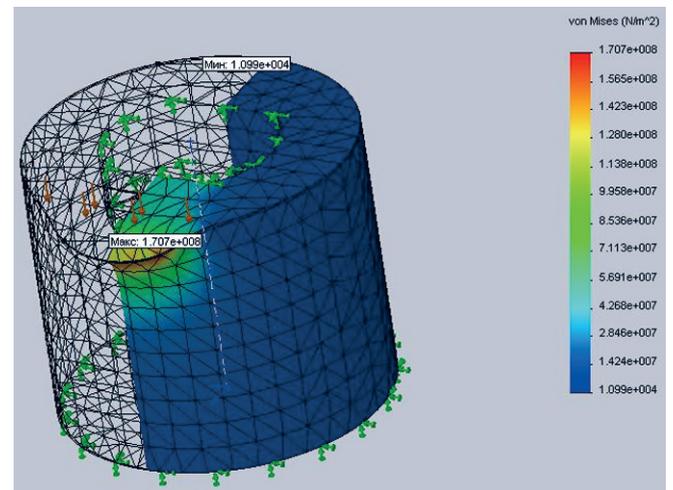


Рисунок 8 — Напряженное состояние твердосплавного резца

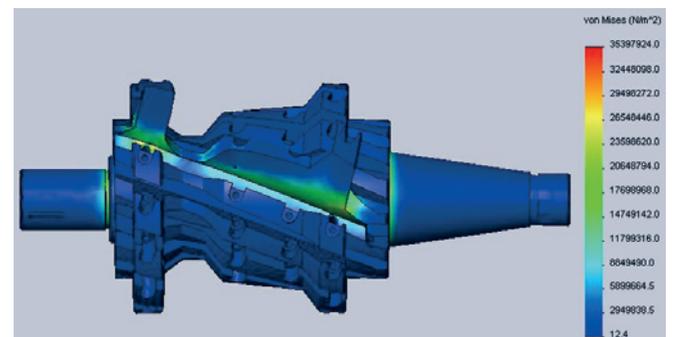


Рисунок 9 — Расчет корпуса фасонной фрезы

Указанный выше расчет был выполнен по упрощенной схеме. Очевидно, что полный расчет должен был бы учитывать не только усилия резания или условия закрепления отдельных деталей, но также и их контактное взаимодействие между собой. Выполнение такого расчета возможно только при помощи специализированных МКЭ-программ, например MSC.MARC. Однако для оценки работоспособности конструкции фрезы описанный выше подход представляется достаточным.

Практическая ценность работы заключается в совокупности научно обоснованных технических решений по эффективному проектированию и моделированию сборных фасонных фрез для восстановительного ремонта поверхности катания колесных пар локомотивов, что может способствовать сокращению сроков проектирования и снижению трудоемкости конструкторско-технологической подготовки производства.

## Литература

1. Станки компании RAFAMET для обработки колесных пар // Железные дороги мира. 1999. № 4.
2. Данилов Б. Колесотокарные станки. Часть I / Оборудование. 2006. № 2.
3. Saurenman H., Caldwell R. Implementing Optimized Wheel and Rail Profiles on the Sacramento LRT System. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e\\_arena/library/2001\\_Conference\\_Proceedings/00025.pdf](http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arena/library/2001_Conference_Proceedings/00025.pdf)
4. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. ЦТ-329. М. : МПС РФ, 1995.
5. Есаулов В.П., Сладковский А.В., Шмурыгин Н.Д. Фасонные фрезы для профильной обработки локомотивных колес // Машиностроение Украины. 1995. № 2.
6. TN-84C Stanray Wheel Truing Machine. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com\\_content&view=article&id=51&Itemid=58](http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=58)
7. Сладковский А.В., Хмиленко В.С., Рубан В.Н. Выбор угла наклона ножей фасонной фрезы для колесофрезерного станка КЖ-20 // Науковий вісник Національного гірничого університету. 2003. № 11.

## References

1. Stanki kompanii RAFAMET dlya obrabotki kolesnykh par // Zheleznye dorogi mira. 1999. № 4.
2. Danilov B. Kolesotokarnye stanki. Chast I: Oborudovanie. 2006. № 2 (110).
3. Saurenman H., Caldwell R. Implementing Optimized Wheel and Rail Profiles on the Sacramento LRT System // [http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e\\_arena/library/2001\\_Conference\\_Proceedings/00025.pdf](http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arena/library/2001_Conference_Proceedings/00025.pdf)
4. Instruktsiya po formirovaniyu, remontu i soderzhaniyu kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 1520 mm. TST-329. Moskva / MPS RF, 1995.
5. Esaulov V.P., Sladkovsky A.V., Shmurygin N.D. Fasonnnye frezy dlya profilnoj obrabotki lokomotivnykh koles // Mashinostroenie Ukrainy. 1995. № 2.
6. TN-84C Stanray Wheel Truing Machine // [http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com\\_content&view=article&id=51&Itemid=58](http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=58)
7. Sladkovsky A.V., Khmilenko V.S., Ruban V.N. Vybora ugla naklona nozhej fasonnoj frezy dlya kolesofrezernogo stanka KZH-20 // Naukovij visnik Natsionalnogo gornichogo universitetu. 2003. № 11.