

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ РЕМОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Кухарь М.Ю.*

*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, Москва*

**Ключевые слова:** горные машины, восстановление зубчатых колес, система автоматизированного проектирования, база данных, технологический процесс, автоматизация.

**Аннотация.** На основании анализа видов повреждений зубчатых колес трансмиссий горных машин, с учётом используемых традиционных и современных методов их восстановления, предложен способ повышения эффективности технологической подготовки ремонтного производства, основанный на применении системы автоматизированного проектирования технологических процессов. Предлагаемая программа разработана на основании системы управления базами данных Microsoft Access. Создана обширная база данных, включающая всю необходимую информацию для разработки технологических процессов восстановления зубчатых колес. База данных имеет реляционную структуру, представляющую данные в виде двумерных таблиц. Представлены блок-схемы алгоритма принятия решений и пример математической модели выбора метода восстановления в виде ориентированного графа. Показан пример практической реализации данной системы, позволяющей использовать как готовые типовые решения, так и проектировать индивидуальные варианты технологических процессов. Результатом работы является САПР технологических процессов восстановления зубчатых колес.

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF REPAIRING GEARWHEELS OF MINING MACHINES TRANSMISSIONS BASED ON AUTOMATION OF REPAIR PRODUCTION PREPARATION**

*Kukhar M.Yu.*

*National University of Science and Technology MISIS, Moscow*

**Keywords:** mining machines, gearwheels repair, computer aided design, cad, database, automation.

**Abstract.** Based on the analysis of damage types to gears in transmissions of mining machines, considering traditional and modern methods of their restoration, a method for improving the efficiency of technological preparation for repair production is proposed, based on the use of an automated design system for technological processes. The proposed program is developed based on the Microsoft Access database management system. An extensive database has been created, including all the necessary information for developing technological processes for restoring gears. The database has a relational structure, representing data in the form of two-dimensional tables. Decision-making algorithm flowcharts and an example of a mathematical model for selecting a restoration method in the form of a directed graph are presented. An example of practical implementation of the system is shown, which allows the use of both ready-made typical solutions and design individual variations of technological processes. The result of the work is a CAD system for technological processes of gear restoration.

### **Введение**

В современных условиях одной из ключевых задач функционирования горнодобывающих предприятий является минимизация затрат на сохранение работоспособности технологических машин и оборудования. Значительные расходы на ремонт, обосновываются необходимостью приобретения оригинальных запасных частей. Однако, в сложившихся условиях это крайне затруднительно, что отрицательно влияет на стоимость и сроки восстановления работоспособного состояния машин и оборудования. В связи с этим организация ремонта вышедших из строя деталей на специализированных ремонтных предприятиях является приоритетной задачей.

Одним из возможных направлений оптимизации процесса ремонта является внедрение автоматизированных систем технологической подготовки производства.

Разработка САПР ТП ремонта позволит повысить эффективность принятия решений, сократить время и трудоемкость подготовки технологической документации, повысить оперативность действий при решении, поставленных задач ремонта, что в свою очередь приведет к сокращению простоев оборудования и снижению расходов на поддержание его в работоспособном состоянии [1].

### Основная часть

В данной работе представлена реализация автоматизированной системы технологической подготовки ремонтного производства на примере системы автоматизированного проектирования технологических процессов восстановления зубчатых колес.

Зубчатые колеса составляют наиболее распространенную и важную группу механических передач, являясь неотъемлемой частью машин и механизмов, применяемых в горной промышленности. В таблице 1 представлены основные материалы, применяемые для изготовления зубчатых колес [2, 3].

Основные виды повреждений [4, 5] зубчатых колес горных машин в процессе эксплуатации представлены на рисунке 1.

Табл. 1. Материалы, применяемые для изготовления зубчатых колес

Служебное назначение	Материал
Зубчатые колеса редукторов горных машин	Хромоникелевые цементуемые стали: 12ХН3А, 18Х2Н4МА, 20Х2Н4А, 20ХГН2МБФ, 20ХЗНЗМФБА, содержание никеля в которых находится в пределах 2.5...4.4%.
Ответственные зубчатые колёса, различных машин и механизмов	Легированные улучшаемые стали: 40Х, 40ХН, 40ХНМА, 35ХГСА. Азотированные стали: 38Х2МЮА.

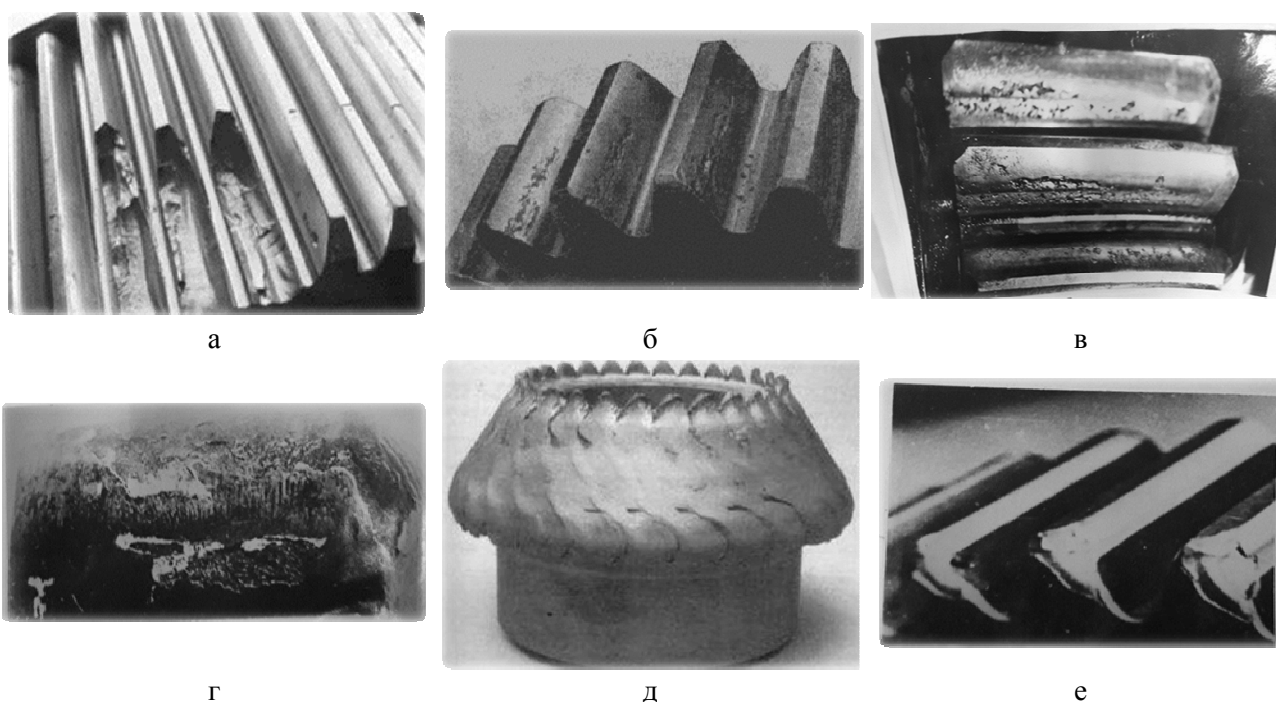


Рис. 1. Основные виды повреждений зубчатых колес горных машин: а – механический излом; б – выкрашивание; в – отслоение цементационного слоя; г – абразивный износ; д – пластическая деформация; е – сколы терцев и вершин

Самыми распространенными методами ремонта зубчатых колес являются:

- наплавка;
- пластическая деформация металла;
- способ дополнительных ремонтных деталей;

– комбинированные методы.

В условиях ремонтных предприятий наиболее часто применяется наплавка: наплавка боковых поверхностей зубьев; наплавка торцов зубьев; наплавка зубчатого обода.

Выбор способа восстановления осуществляют в зависимости от конструкции, степени износа и вида разрушения зубчатого колеса [6].

Основные методы наплавки [7], применяемые при ремонте зубчатых колес представлены в таблице 2.

Табл. 2. Виды наплавки, применяемые при ремонте зубчатых колес

Метод наплавки	Тип наплавки
Ручная наплавка	электродуговая
	газовая
Механизированная наплавка	в среде защитных газов
	наплавка под слоем флюса
	вибродуговая наплавка
	электрошлаковая наплавка
Бесконтактный способ передачи энергии	индукционная наплавка
С помощью высококонцентрированных энергетических потоков	плазменная наплавка
	лазерная наплавка

### **Система автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов (ТП) ремонта**

Система автоматизированного проектирования (САПР) – организационно-техническая система, упрощающая проектирование за счет использования комплекса средств автоматизированного проектирования [8].

Главное целью САПР является увеличение производительности труда инженеров и технологов с помощью:

- сокращения трудоёмкости планирования и проектирования;
- сокращения сроков проектирования;
- сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшения затрат на эксплуатацию;
- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания

В рамках выбранной работы будем использовать систему технологической подготовки производства Computer-Aided Process Planning (CAPP) [9].

Задача CAPP заключается в том, чтобы по заданной САД-модели изделия составить план его производства или ремонта, называемый операционной или маршрутной картой. Данный план содержит указания о последовательности технологических операций, используемых в станках и инструментах.

Источником информации для системы технологической подготовки производства выступает имеющаяся база данных определенных типовых техпроцессов.

Функции САПР для поддержки восстановления зубчатых колес:

- разработка описания техпроцесса ремонта зубчатого колеса;
- создание технологической документации, оформленной в соответствии с действующими требованиями;
- расчёт длительности операции;
- оценка трудоёмкости изготовления изделия;
- вычисление расхода материалов [10].

Внедрение автоматизированной системы проектирования ТП ремонта значительно ускорит процесс принятия решений и упростит работу технолога, так как подразумевает использование значительных объемов разработанных баз данных. Создаваемая система обладает гибкостью, чтобы трансформироваться для любого вида ремонтного производства.

Работа над созданием системы автоматизированного проектирования ТП ремонта зубчатых колес включала с себя следующие этапы:

- разработку способа описания исходной технологической информации;
- создание базы данных с установлением связей между ее элементами, так как каждый метод восстановления требует специфического оборудования, материалов и приспособлений;
- описания типовых решений (типовых технологических процессов восстановления) и алгоритмов их выбора;

– разработки формы и правил печати технологических карт.

Для управления базами данных использовано специализированное программное обеспечение Microsoft Access. Оно реализует реляционную модель данных и имеет множество функций, включая связанные запросы, возможность связи с внешними таблицами и базами данных.

На первоначальном этапе проектирования необходимо организовать ввод общих данных, характеризующих деталь: модуль зубчатого колеса; габаритные размеры; материал зубчатого колеса; вид повреждения; вид окончательной термообработки.

На основании введенных данных осуществляется выбор вида ремонтных работ и подбирается вариант типового технологического процесса (ТП). В зависимости от возможностей конкретного производства типовой процесс можно корректировать, используя информацию из базы данных.

В завершении формируется отчет в виде маршрутной карты.

Алгоритм процесса принятия решений представлен на рисунке 2.

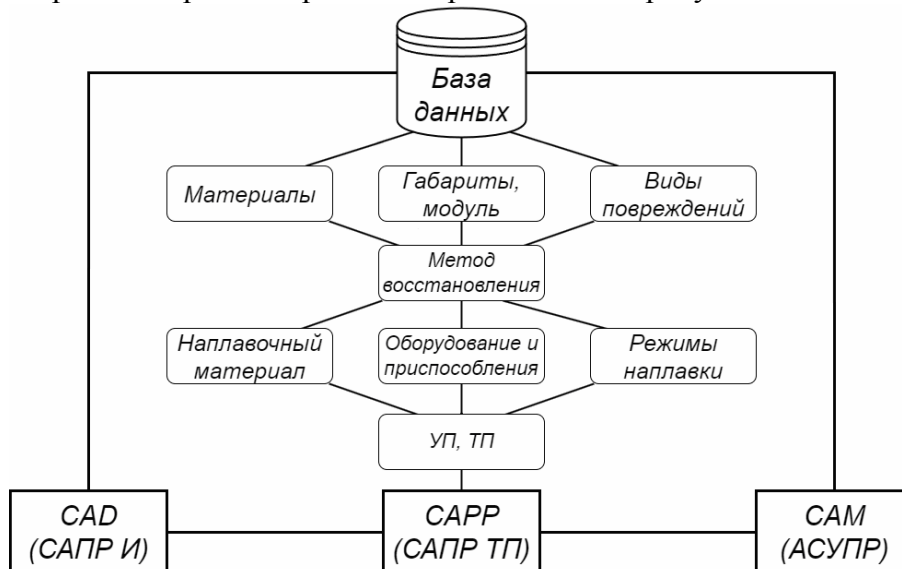


Рис. 2. Алгоритм процесса принятия решений

Блок-схема алгоритма принятия решений на первом этапе проектирования представлена на рисунке 3.

На рисунке 4 в качестве примера показана математическая модель выбора метода восстановления для мелко модульных зубчатых колес, представленная в виде ориентированного графа.

После выбора метода восстановления зубчатого колеса, с использованием типовых технологических процессов ремонта хранящихся в базе данных, формируется технологический процесс восстановления зубчатого колеса.

Реляционная база данных формируется на основании ряда таблиц, содержащих данные о параметрах зубчатого колеса, типовых технологических маршрутах его восстановления, операциях и переходах, наплавляемых материалах, инструментах и приспособлениях и т.д.

На рисунках 5-7 показаны фрагменты таблиц составляющих базу данных программы.

На рисунке 8 показан пример реализации связей между таблицами базы данных.

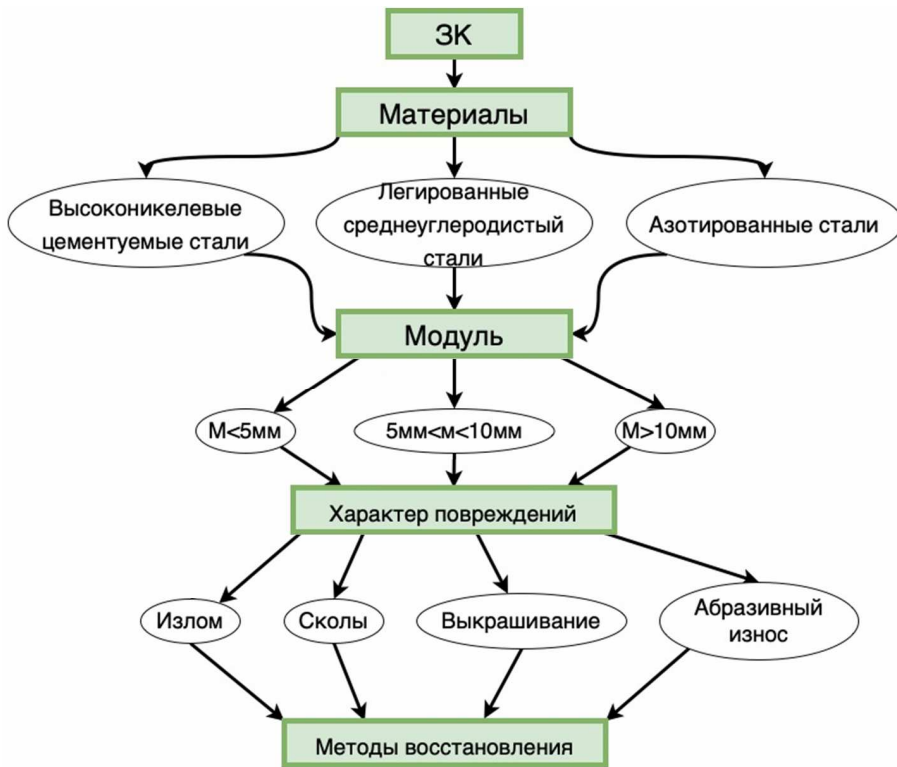


Рис. 3. Блок-схема алгоритма принятия решений на первом этапе проектирования

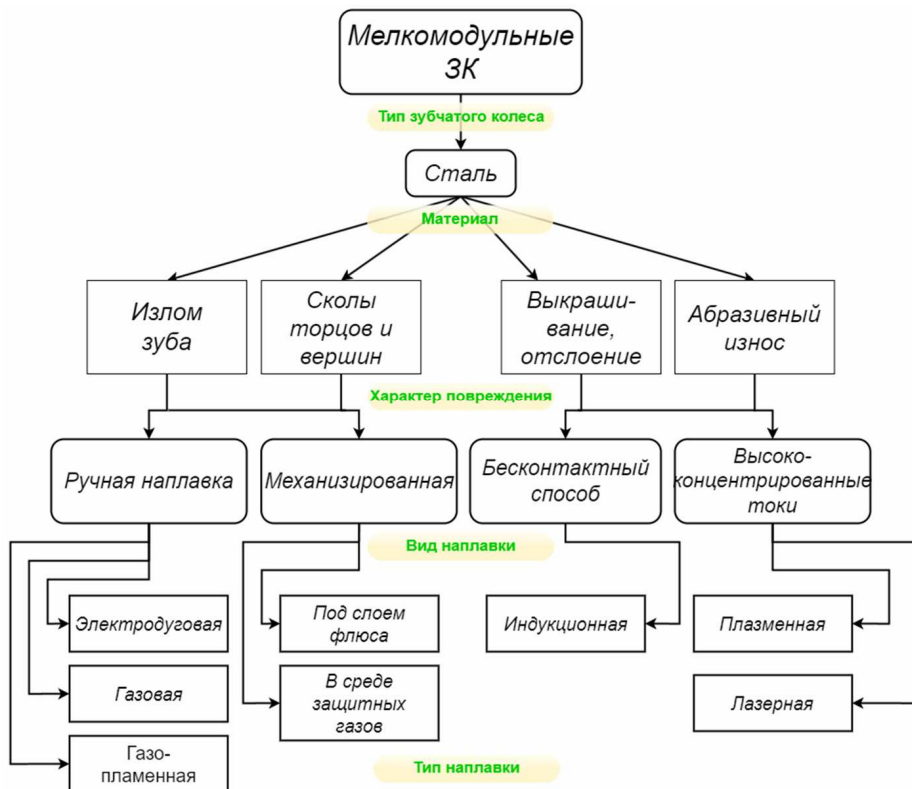


Рис. 4. Математическая модель выбора метода восстановления для мелкомодульных зубчатых колес

Код	Метод восстановления	Повреждение
1	Ручная наплавка	Излом зуба; Сколы торцов и вершин
2	Механизированная наплавка	Излом зуба; Сколы торцов и вершин; Выкрашивание, отслоение; Абразивный износ
3	Бесконтактный способ передачи	Выкрашивание, отслоение; Абразивный износ
4	Высококонцентрированные потоки	Выкрашивание, отслоение; Абразивный износ

Рис. 5. Фрагмент таблицы «Методы восстановления»

Код марки	Марка проволоки	ω углерода	ω марганца	ω кремния	ω хрома	ω никеля	ω серы	ω фосфора	Сталь
1	Нп-30	0,27-0,35	0,5-0,8	0,17-0,37	≤ 0,25	≤ 0,3	≤ 0,04	≤ 0,035	Среднеуглеродистая
2	Нп-50	0,45-0,55	0,5-0,8	0,17-0,37	≤ 0,25	≤ 0,3	≤ 0,04	≤ 0,035	Среднеуглеродистая
3	Нп-85	0,82-0,9	0,5-0,8	0,17-0,37	≤ 0,25	≤ 0,3	≤ 0,035	≤ 0,035	Среднеуглеродистая
4	Нп-40Г	0,35-0,45	0,7-1	0,17-0,37	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,035	≤ 0,035	Легированная
5	Нп-65Г	0,6-0,7	0,9-1,2	0,17-0,37	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,035	≤ 0,035	Легированная
6	Нп-30ХГСА	0,25-0,35	0,8-1,2	0,8-1,2	0,8-1,2	≤ 0,4	≤ 0,025	≤ 0,025	Легированная
7	Нп-30Х5	0,27-0,35	0,4-0,7	0,2-0,5	4,0-6,0	≤ 0,4	≤ 0,04	≤ 0,04	Легированная
8	Нп-20Х14	0,16-0,25	≤ 0,8	≤ 0,8	13,0-15,0	≤ 0,6	≤ 0,25	≤ 0,3	Высоконикелевая
9	Нп-30Х13	0,25-0,35	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0-14,0	-	≤ 0,025	≤ 0,03	Высоконикелевая
10	Нп-40Х13	0,35-0,45	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0-14,0	-	≤ 0,025	≤ 0,03	Высоконикелевая
11	Нп-03Х15Н35Г7М6Б	≤ 0,03	5,0-7,5	≤ 0,9	13,0-16,0	33,0-36,0	≤ 0,02	≤ 0,035	Высоконикелевая
12	Нп-30Х10Г10Т	0,25-0,35	10,0-12,0	≤ 0,35	10,0-12,0	≤ 0,6	≤ 0,03	≤ 0,035	Высоконикелевая

Рис. 6. Фрагмент таблицы «Марка проволоки»

Код	Операция	№ опер	Наплавка	Сталь	Модуль
16	Контроль	025	Газовая	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
17	Зубофрезерная	030	Газовая	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
18	Слесарная (зубофасочн	035	Газовая	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
19	Термическая	040	Газовая	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
20	Контрольная	045	Газовая	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
21	Моечная	005	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
22	Слесарно-сборочная	010	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
23	Наплавочная	015	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
24	Контроль	020	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
25	Зубофрезерная	025	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
26	Слесарная (зубофасочн	030	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
27	Термическая ТВЧ	035	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
28	Внутришлифовальная	040	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
29	Зубошлифовальная	045	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
30	Контроль	050	Индукционная	Хромоникелевая; Ср1	Крупномодульное
31	Моечная	005	Под слоем флюса	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
32	Слесарно-сборочная	010	Под слоем флюса	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
33	Термическая	015	Под слоем флюса	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
34	Наплавочная	020	Под слоем флюса	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
35	Термическая	025	Под слоем флюса	Среднеуглеродистая	Среднемодульное
36	Контроль	030	Под слоем флюса	Среднеуглеродистая	Среднемодульное

Рис. 7. Фрагмент таблицы «Выбор операции»

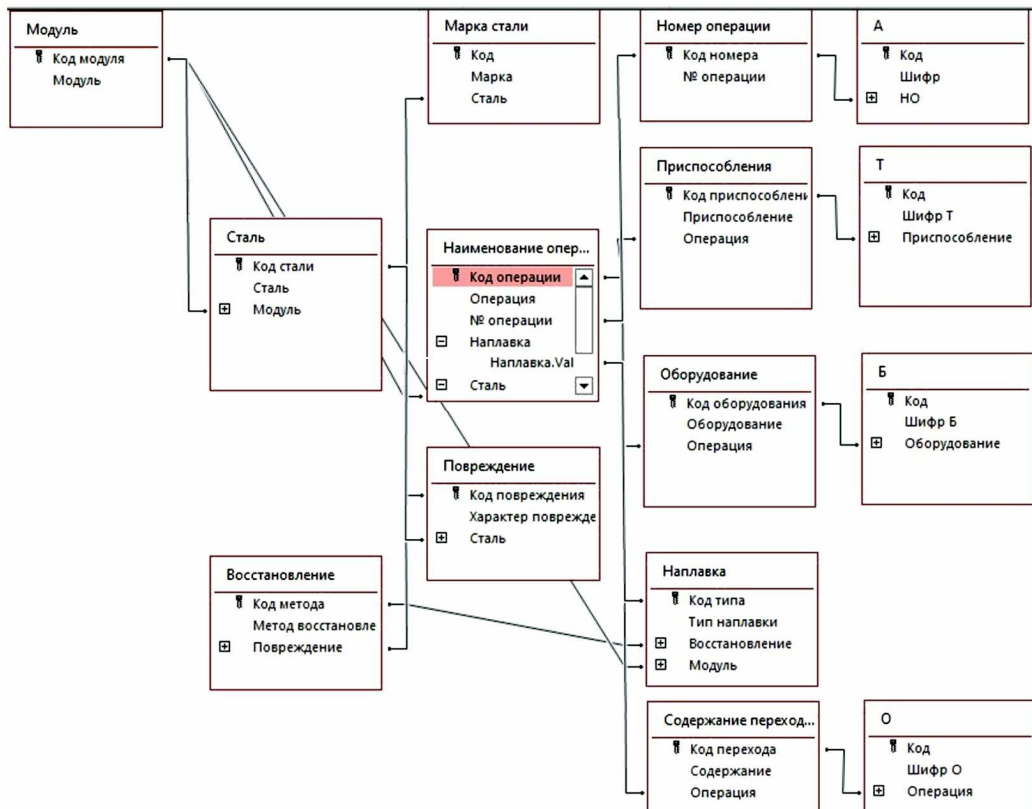


Рис. 8. Реализация связей между таблицами БД



В процессе работы с программой в диалоговом режиме вводятся исходные данные, а затем в автоматизированном режиме из базы данных выбирается соответствующий типовой технологический процесс восстановления. Каждая строка технологического процесса имеет открывающееся окно, в котором в ручном режиме можно выбрать параметры данной операции, перехода или скорректировать предлагаемые. Таким образом, для каждой строки технологического процесса организован запрос к соответствующей таблице базы данных. Пример работы интерфейса показан на рисунке 9.

Система, позволяет использовать как готовые типовые решения, так и проектировать индивидуальные варианты технологических процессов.

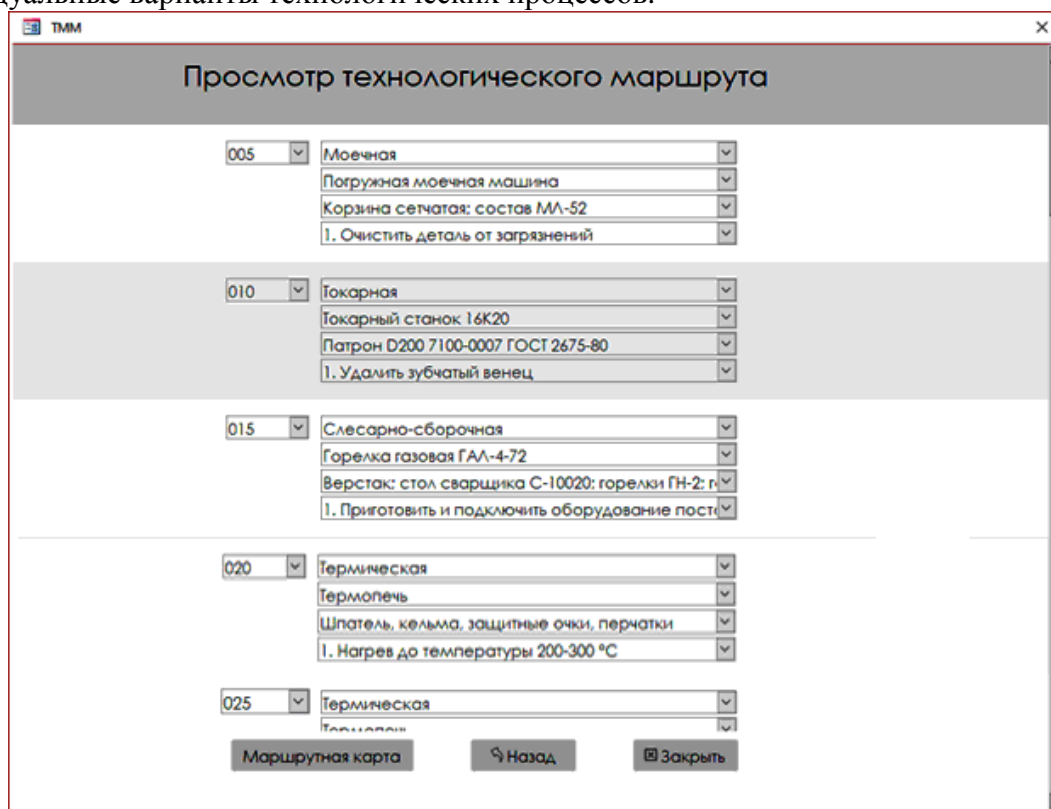


Рис. 9. Предварительный просмотр технологического маршрута

Результатом работы является сформированные технологические карты, оформленные в соответствии с ГОСТ 3.1118-82, и возможность их печати.

## Выводы

Система автоматизированного проектирования технологических процессов восстановления зубчатых колес играет важную роль в ускорении технологической подготовки ремонтного производства. Конечной целью САПР является разработка технологической документации. Автоматизация работ при поиске проектных решений, оформлении технологических документов, создании архивов техпроцессов приведет к повышению производительности труда технологов, повышению качества проектных работ и работ по восстановлению деталей.

## Список литературы

1. Сурина Н.В., Мнацаканян В.У. Система автоматизированного проектирования технологических процессов при ремонте горной техники // Горный журнал. – 2019. – №7. – С. 90-95. – DOI: 10.17580/gzh.2019.07.08.
2. Шубина Н.Б. Материаловедение в горном машиностроении. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2000. – 270 с.
3. Борисов В.Б., Борисов Е.И., Васильев В.Н., Волчкевич Л.И. Справочник технолога машиностроителя. – Т. 1, 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
4. Молдавский Л.А., Финкельштейн З.Л., Верклов Б.А. Виды повреждений и долговечность трансмиссий горных машин. – М.: Недра, 1981. – 192 с.

5. Абрамов Ю.А., Андреев В.Н., Горбунов Б.И., Грановский Э.Г. Справочник технолога машиностроителя. – Т. 2, 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. 496 с.
6. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
7. Пантелеенко Ф.И., Ляпкин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. Восстановление деталей машин. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
8. Бурдо Г.Б., Григорьев С.Н., Камаев В.А., Митрофанов В.Г., Палюх Б.В., Схиртладзе А.Г. Основы построения САПР ТП в многономенклатурном машиностроительном производстве. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 278 с.
9. Сурина Н.В. САПР технологической подготовки производства // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2016. – №4. – С. 94-97.
10. Зинина И.Н. О развитии САПР ТП, или автоматизация автоматизированных систем // CAD\CAM\CAE Observer. – 2010. – №5(57). – С. 52-56.

#### References

1. Surina N.V., Mnatsakanyan V.U. Automated process design system for mining equipment repair // Mining Journal. 2019, no. 7, pp. 90-95. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.08.
2. Shubina N.B. Materials Science in Mining Engineering. – М.: Publ. house of the Moscow State Mining University, 2000. – 270 p.
3. Borisov V.B., Borisov E.I., Vasiliev V.N., Volchkevich L.I. Handbook of the Machine Builder. – Vol. 1, 4th edition. – М.: Mechanical Engineering, 1986. – 656 p.
4. Moldavskiy L.A., Finkel'shteyn Z.L., Verklov B.A. Types of damage and durability of transmissions for mining machines. – М.: Nedra, 1981. – 192 p.
5. Abramov Y.A., Andreev V.N., Gorbunov B.I., Granovskiy E.G. Handbook of the Machine Builder. – Vol. 2, 4th edition. – М.: Mechanical Engineering, 1986. – 496 p.
6. Volovik E.L. Handbook on Restoration of Parts. – М.: Kolos, 1981. – 351 p.
7. Panteleenko F.I., Lyapkin V.P., Ivanov V.P., Konstantinov V.M. Restoration of Machine Parts. – М.: Mechanical Engineering, 2003. – 672 p.
8. Burdo G.B., Grigoriev S.N., Kamaev V.A., Mitrofanov V.G., Palyukh B.V., Skhirtladze A.G. Fundamentals of Developing CAD/CAM/PLM Systems for Multinomenclature Mechanical Engineering Production. – Sary Oskol: TNT, 2017. – 278 p.
9. Surina N.V. CAD/CAM/CAE Systems for Technological Preparation of Production. // Automated Design in Mechanical Engineering. 2016, no. 4, pp. 94-97.
10. Zinina I.N. On the Development of CAD/CAM/PLM Systems or Automation of Automated Systems // CAD/CAM/CAE Observer. 2010, no. 5(57), pp. 52-56.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Кухарь Марк Юрьевич</b> – аспирант	<b>Kukhar Mark Yurevich</b> – postgraduate student
kuxarmark2010@mail.ru	

*Получена 06.04.2023*