

Министерство образования Республики Беларусь

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(Полоцкий государственный университет)

УДК 621.91.01/02

№ госрегистрации 20200182

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Полоцкого государственного
университета,
канд.пед.наук

_____ И.В. Бурая

«__» _____ 2021 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

НАУЧНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ
И ВЫСОКОТОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ, СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ
(заключительный)

Начальник

отдела сопровождения
научных исследований

_____ 2021г.
«__» _____

Т.В. Гончарова

Руководитель НИР,
д-р.техн.наук, профессор

_____ 2021г.
«__» _____

Н.Н. Попок

Новополоцк 2021

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
Заведующий кафедрой
технологии и оборудования
машиностроительного
производства,
д-р техн. наук, профессор

_____ 2021г.
«__»_____

Н.Н. Попок
(введение, разделы 1,
заключение)

Исполнители:

канд.техн.наук, доцент

_____ 2021г.
«__»_____

Хмельницкий Р.С.
(раздел 1)

канд.техн.наук, профессор

_____ 2021г.
«__»_____

Голембиевский А.И.
(раздел 2)

канд.техн.наук, доцент

_____ 2021г.
«__»_____

Киселев Р.А.
(раздел 3)

канд.техн.наук, доцент

_____ 2021г.
«__»_____

Дронченко В.А.
(раздел 5)

старший преподаватель

_____ 2021г.
«__»_____

Портянко С.А.
(раздел 1.2,1.3,1.8)

старший преподаватель

_____ 2021г.
«__»_____

Тихон Е.М.
(раздел 1.3,1.6)

старший преподаватель

_____ 2021г.
«__»_____

Гвоздь Г.И.
(раздел 1.5)

старший преподаватель

_____ 2021г.
«__»_____

Бритик Е.В.
(раздел 1.7)

ассистент

_____ 2021г.
«__»_____

Анисимов В.С.
(раздел 1.3,1.4)

мастер производственного
обучения

_____ 2021г.
«__»_____

Яловский О.В.
(раздел 4)

Нормоконтролер

_____ 2021г.
«__»_____

Л.В. Ищенко

Реферат

Отчет: 201 с., 89 рис., 25 табл., 143 источника.

Ключевые слова: методология, процесс резания, модель, 3D прототипирование, блочно-модульный режущий инструмент, степень сложности, станок, кинематическая структура, зубчатый контур, утилизация отходов.

Объектом исследования являются металлорежущие станки и режущие инструменты для высокоскоростной и высокоточной обработки поверхностей деталей.

Цель работы – разработать научные и технологические основы создания высокоскоростных и высокоточных процессов, станков и инструментов для обработки материалов с заданными свойствами.

Метод исследования: аналитический.

В результате исследований разработаны методология и методика исследования процесса резания материалов в современных условиях развития машиностроения, предложены модели режущих инструментов, в том числе с использованием 3D прототипирования, исследованы точность и степень сложности обработки различных поверхностей деталей, разработаны основные этапы подготовки производства блочно-модульных режущих инструментов на основе 3D печати моделей из пластиковых материалов, разработана научная парадигма функционального проектирования кинематической структуры металлорежущих станков с электронными связями в формообразующих группах, обоснована структура станочного оборудования для обработки изделий с зубчатым контуром, определены кинематические и геометрические параметры при проектировании резцовых головок для обработки с параллельными осями инструмента и заготовки, предложены способы переработки и утилизации отходом машиностроительных предприятий.

Степень внедрения – результаты исследований используются в образовательном процессе Полоцкого государственного университета при проведении лекционных, лабораторных и практических занятий, а также при курсовом и дипломном проектировании по специальностям «Технология машиностроения» и «Производство изделий на основе трехмерных технологий» и в производстве научно-технологического оборудования.

Экономическая эффективность достигается за счет повышения производительности обработки заготовок и стойкости режущих инструментов от 2 до 3 раз по сравнению со стандартными.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ, СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ	8
1.1 Кинематико-геометрические, физические и технологические основы процесса резания	8
1.2 Методология исследования работоспособности фрезерных и осевых режущих инструментов на основе 3D прототипирования.....	22
1.3 Моделирование и регулирование стружкообразования и потоков смазочно-охлаждающей технологической среды при фрезеровании.....	38
1.4 Механическая обработка плоских и криволинейных поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом на токарных и фрезерных станках с ЧПУ	48
1.5 Модель и алгоритм проектирования блочно-модульных режущих инструментов	67
1.6 Повышение точности блочно-модульных расточных режущих инструментов.....	76
1.7 Исследование степени сложности машиностроительных изделий	84
1.8 Подготовка производства блочно-модульных фрез с использованием 3D прототипирования.....	98
2 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЭЛЕКТРОННЫМИ СВЯЗЯМИ В ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ГРУППАХ.....	110
2.1 Постановка задачи.....	110
2.2 Синтез гибридной кинематической структуры станка по схеме задающая – ведомая координаты	111
2.3 Синтез гибридной кинематической структуры станка по схеме равнозначных координат ..	116
2.4 Электронная система синхронизации исполнительных органов станка для обработки двухшаговых червяков чашечным резцом.....	124
3 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ С ЗУБЧАТЫМ КОНТУРОМ	134
3.1 Кинематическая структура станочного оборудования	134
3.2 Параметрическая оптимизация компонентов формообразующей системы станочного оборудования для обработки изделий с зубчатым контуром	139
3.3 Разработка компоновки и механики автоматизированного станочного оборудования для обработки изделий с зубчатым контуром.....	144
3.4 Режимы обработки	148
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И ПОДАЧИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕЗЦОВЫХ ГОЛОВОК ДЛЯ СПОСОБА ОБРАБОТКИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ОСЯМИ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ	151
4.1 Постановка задачи.....	151
4.2 Угол скорости резания и угол подачи при дискретном задании подачи резания.....	153
4.3 При непрерывном задании подачи резания.....	155
4.4 Определение угла скорости резания η' при непрерывной подаче врезания.....	157
4.5 Определение угла подачи μ' при непрерывном движении подачи врезания	158

4.6 Угол подачи при профилировании путем дискретного изменения параметра L	159
4.7 Угол подачи при профилировании путем непрерывного изменения параметра L	159
4.8 Угол подачи при дискретном задании движения подачи врезания и наличия движения кругового профилирования	161
5 СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	163
5.1 Постановка задачи.....	163
5.2 Влияние нефтесодержащих отходов машиностроительного предприятия на здоровье работающих и окружающую среду	165
5.3 Анализ источников нефтесодержащих отходов и нормативных документов в сфере обращения с отходами производства	169
5.4 Регенерация загрязненных нефтесодержащих продуктов как способ снижения объемов нефтесодержащих отходов, подлежащих утилизации	174
5.5 Направления использования, совершенствования переработки и утилизации нефтесодержащих отходов предприятий.....	176
5.6 Выбросы котельных установок и способы их снижения	180
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	184
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	190

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электронный ресурс. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Технологический уклад](https://ru.wikipedia.org/wiki/Технологический_уклад).
2. Глазьев С.Ю., Львов Д.С., Фетисов Г.Г. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. – М.: Наука, 1992. – 207 с.
3. Перес К. Технологические революции и финансовый капитал: Динамика пузырей и периодов процветания. – М.: Дело, 2011 – 232 с.
4. Электронный ресурс. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Третья волна \(Тоффлер\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Третья_волна_(Тоффлер)).
5. Патрик де Вос. Информация как суть четвертой промышленной революции. – «Станочный парк», 2017. – с.29-31.
6. Электронный ресурс. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Конвергенция>.
7. Электронный ресурс. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Устойчивое развитие](https://ru.wikipedia.org/wiki/Устойчивое_развитие).
8. Попок Н.Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства. – Минск, УП «Технопринт», 2001. – 396 с.
9. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М. Русецкий, Н.Н. Попок [и др.]; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 316 с.
10. Грановский Г.И. Кинематика резания. – М.: Машгиз, 1948. – 199с.
11. ГОСТ 25761-83. Виды обработки резанием. Термины и определения общих понятий.
12. ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий.
13. ГОСТ 25751-83. Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий.
14. Попок, Н.Н., Хмельницкий, Р.С., Черневич М.В. Анализ особенностей кинематики и геометрии процесса высокоскоростного резания // Материалы междунар. научно–техн. конф. «Технология-оборудование-инструмент-качество». – Минск: Бизнес-софсет, 2014. – с.93-95.
15. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. – М.: Машгиз, 1962. – 152с.
16. Бобров В.Ф. Иерусалимский Д.Е. Резание металлов самовращающимися резцами. – М.: Машиностроение, 1972. – 111с.

17. Попок Н.Н. Исследование процесса ротационного резания принудительно вращающимися инструментами. – Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Минск. 1983 – 274 с.
18. Рейхель В. Методика определения стойкости резца и обрабатываемости материала. – Миротехника №4, 1936. – с. 6-14.
19. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
20. Хмельницкий Р.С., Анисимов В.С., Гвоздь Г.И. Автоматизация станочного оборудования для высокоскоростной обработки резанием / Материалы VI междунаучно-практ. конф. «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении» (ред. кол.: Малярович А.М. (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Бизнессофсет, 2018. – с. 111-112.
21. Новоселов Ю.К., Попок Н.Н. Методологические основы и пути разработки САПР ротационного резания / «Известия вузов. Машиностроение». изд. МВТУ им. Н.Э. Баумана, №5, 1987. – с. 125–128.
22. Попок Н.Н. Теоретические и технологические основы мобильного многономенклатурного производства и интенсификацией механической обработки поверхностей деталей типа тел вращения. – Дисс. на соиск. уч. ст. доктора техн. наук, Минск, 2002. – 341 с.
23. Пашкевич В.М. Повышение точности механической обработки и сборки изделий машиностроительного производства на основе построения и использования компьютерных обучающих систем / Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. доктора техн. наук, Минск, 2007. – 46 с.
24. Гулаков К.В. Моделирование многомерных объектов на основе когнитивных карт с нейросетевой идентификацией параметров. – Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Брянск, 2013. – 19 с.
25. Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Кузьмишина А.М. Управление технологическим оборудованием предприятия в условиях цифровых производств на основе искусственного интеллекта и облачных технологий. – МА и ППСиМ, Нижний Новгород, №1, 2018. – с. 15–26.
26. Попок Н.Н. Методология и исследования процесса резания материалов в современных условиях развития машиностроения/ Вестник ПГУ, сер. В. Промышленность. Прикладные науки. №3, 2019 г. – с. 21-30.

27. Попок Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Ч.3 Инструментальные системы для многоцелевой обработки/Вестник ПГУ, сер. В. Промышленность. Прикладные науки. №3, 2013 г. – с. 19-37.
28. С.М. Белоцерковский, М.И. Ништ, В.Н. Котовский, Р.М. Федоров. Трехмерное отрывное обтекание тел произвольной формы. М. : Центр. аэродинам. ин-т им. Н.Е. Жуковского, 2000. — 260 с.
29. Андронов П.Р., Гувернюк С.В, Дынникова Г.Я. Вихревые методы расчета нестационарных гидродинамических нагрузок. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006.-184 с.
30. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. 1962 – 152 с.
31. Грубый С.В. Расчетные параметры стружкообразования при несвободном косоугольном резании пластичных материалов. С 4 – 15.
32. Технология FDM печати конструкции блочно-модульной торцевой фрезы/ Попок Н.Н., Портянко С.А.. Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» - Могилёв, 24-25 октября 2019 г. с. 38.
33. 3D моделирование конструкций блочно-модульных торцевых фрез/ Попок Н.Н., Портянко С.А., Информационно-коммуникационные технологии: достижения, проблемы, инновации (ИКТ-2018) [Электронный ресурс] : электронный сборник статей I международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 2018 г., с. 190-192.
34. 3D макетирование сборных режущих инструментов для высокоскоростной обработки/ Н.Н. Попок, С.А. Портянко. Материалы 34-ой Международной научно-технической конференции «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки» - Минск: БНТУ, 2019 г. – с. 97-98.
35. Оценка параметров точности и шероховатости поверхностей деталей блочно-модульного режущего инструмента, полученных 3D печатью/ Попок Н.Н., С.А. Портянко, В.С. Анисимов, Л.Н. Косяк. Материалы 35-ой международной научно-технической конференции «Технология – Оборудование – Инструмент – Качество». - Минск: БНТУ, 2020 г. с. 12-13.
36. Подготовка машиностроительного производства на основе 3D-прототипирования технологической оснастки/ Попок Н.Н., Портянко С.А.. Инновационные технологии в машиностроении (ИнТехМаш-2020) [Электронный ресурс] : электронный сборник статей материалов международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию

научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21-22.04.2020 г., с. 40-41.

37. Автоматизация подготовки производства на основе 3D макетирования технологической оснастки/ Н.Н. Попок, С.А. Портянко, Материалы VIII международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении» - Минск: БНТУ, 2020 г. – с. 100.

38. Высокоскоростная обработка [электронный ресурс]. <http://insoftmach.ru/HSC.html> – дата 24.10.2017.

39. Филиппов Г.В.. Режущий инструмент. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1981. — 392 с.

40. ГОСТ 17025-19. Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком.

41. DIN6527L. Фрезерный инструмент «Guhring».

42. Деформация и стружкообразование при обработке плоских и криволинейных поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом на токарных и фрезерных станках с ЧПУ / Н. Н. Попок, В. А. Анисимов // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Серия В, Прикладные науки. Промышленность. – 2020. – №10. – С. 28-34.

43. Методология исследования работоспособности фрезерных и осевых режущих инструментов на основе 3D прототипирования / Н.Н. Попок, С.А. Портянко // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Серия В, Прикладные науки. Промышленность. – 2020. – №11. – С. 29-39.

44. Некрасов Р. Ю. Теплофизика и гидравлика в технологических системах нефтегазового оборудования: учебник / Р. Ю. Некрасов, Л. К. Габышева, У. С. Путилова и др. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – 172 с.

45. ГОСТ 25762. Обработка резанием. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 24с.

46. Коновалов, Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г.Коновалов, В.А.Сидоренко, А.В. Соусь– Мн.: «Наука и техника», 1972. – 272с.

47. Землянский, В.А. Обработка высокопрочных материалов инструментами с самовращающимися резцами / В.А.Землянский, Б.В.Лупкин– Киев: Техника, 1980. – 120с.

48. Кушнер, И.С. Круглые вращающиеся резцы /И.С.Кушнер, В.В. Ледяев //В.Кн.: Эффективные режущие и мерительные инструменты. – Куйбышев: Куйбышевское кН. Изд-во, 1966. – с. 40-49.

49. Каширин, А.Н. Резание металлов принудительно вращающимся резцов системы Л.М. Ронин и А.Н. Каширин /А.Н.Каширин, Л.М.Ронин– Изв. АН СССР, ОТН,№7, 1940. – с. 39-46.

50. Новоселов, Ю.А. Оптимизация процесса резания на основе сопоставительного анализа взаимосвязи выходных характеристик / Ю.А. Новоселов, Н.Н. Попок – Изв. Вузов.Машиностроение, №5, 1989. – с. 149-153.
51. А.С. №1187919 Способ обработки с оптимизацией режимов резания /П.И.Ящерицын, Ю.А.Новоселов, Н.Н.Попок // В23В1/00, Г.И.№40, 30.10.85, заявка от 21.07.82.
52. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова.– 5-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение-1, 2001. – 912 с., ил.
53. Merchant M. E., Basic Mechanics of the Metal Cutting Process, Transaction of the ASME, vol 66, 1944.
54. Попок, Н.Н. Кинематика обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки/ Н.Н. Попок, В.С. Анисимов// Вестник ПГУ, сер. В., № 11 , 2019. – с. 31-38
55. Брикс А.А. Резание металлов (строгание) / А.А. Брикс – С.-Петербург, 1896.
56. Патент ВУ19260. Способ установки сменной режущей пластины в режущем инструменте, Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я. // Заявка на изобретение № а 20110025 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16.
57. Патент ВУ19226. Режущий инструмент / Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я. // Заявка на изобретение № а 20110026 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16.
58. Таратынов О.В. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: учеб. пособие для вузов / О.В. Таратынов, Г.Г. Земсков, Ю.Л. Тарамыкина, – М.: Высш. шк., – 1991, – 423 с.
59. Гуляев Ю.Б. Повышение эффективности технологической подготовки производства на основе автоматизированного проектирования и выбора сборных торцовых фрез / Автореферат дисс. на соиск. уч.ст. канд. техн. наук, М., 2006г., – 24с.
60. Попок Н.Н. Обоснование классификации режущих инструментов по конструктивным, технологическим и функциональным признакам / Машиностроение Вып. 21, в 2-х томах, т.1, 2005, с.143-150.
61. Herasimau, N. Papok. Cartridge toolholders and boring heads for high-precision holes treatment// Materials of VI junior researchers' conference, 2012, p.91 – 94.
62. Патент № 9108 РБ, МПК В23В29/00. Расточной инструмент.
63. Шарин Ю.С., Старцева Т.В. Новый метод нормирования мехобработки // Машиностроитель. – 1999.- №1.- С.35-36

64. Раскин П.Н., Коршунов А.И. Оценка конструктивно-технологической сложности при прогнозировании трудоемкости и затрат на ранних стадиях его жизненного цикла. – Воткинский филиал им. ГТУ. 2008 г.
65. Толмачев В.Г., Якимович Б.А., Коршунов А.И. Оценка эффективности функционирования производственных систем на основе показателя сложности. Вестник ИжГТУ. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 1998. – №1. – С. 66-68.
66. Якимович Б.А., Коршунов А.И. Экспертные методы оценки структурно-параметрической сложности деталей// Информатика. Машиностроение.- М.: Машиностроение, 1997.-№3.-С.28-32
67. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1986г. – 176 с.
68. Якимович Б.А. Коршунов А.И. Сложность деталей машиностроения и эффективное функционирование производственной системы // Избранные данные записки ИжГТУ, в 3т. – Ижевское издательство ИжГТУ, 1998, т.2, с. 55-61.
69. Якимович Б.А. Коршунов А.И. Определение показателей трудоемкости изготовления корпусных деталей в условиях автоматизированного производства // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение. – 1996. № 8, с. 41-45.
70. Шарин Ю.С., Поморцева Т.Ю. Теория сложности и ее использование в машиностроении. – Екатеринбург: Свердловский УНТИ, 1995.– 237 с.
71. Научная школа «Моделирование сложных технических систем» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.pro18.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=295:2012-02-17-04-02-38&catid=73:2012-02-11-04-56-18&Itemid=336 дата доступа : 30.09.2015
72. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, А.Ф. Прохоров и др.: Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, В.Г. Митрофанова.- М.: Машиностроение, 1986.-256 с.
73. Системы автоматизированного проектирования; в 9-ти кн. Кн. 9. Иллюстрированный словарь: Учеб. пособие для вузов / Д.М. Жук, П.К. Кузьмин, В.Б. Маничев и др.: Под ред. И.П. Коренкова – М.: Высшая школа, 1986.-156 с.
74. Гамрат-Курек Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов: Учебн. пособие. – М.: Высшая школа, 1974. – 190 с.
75. Кочубей Н.К. Практические расчеты экономической эффективности унификации изделий // Вопросы механики и машиностроения, том 17 С. 159-178.
76. Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Электронная информационно-

образовательная среда [Электронный ресурс]. Режим доступа : http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?dir=1&tutindex=18&index=21&layer=1 дата доступа : 14.04.2015

77. Севрюгин А.С. Определение трудоемкости изготовления машин при их проектировании // Машиностроитель, 1990, №2, с. 31

78. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные.

79. Троицкий Д.И. Количественная оценка сложности машиностроительных деталей // Оборудование и инструмент для профессионалов. - 2011. - №3. - С. 62-65.

80. Ерёмин А.А., Троицкий Д.И. Поэлементный метод оценки конструктивной сложности деталей. Известия Тульского государственного университета. Технические науки № 12-1 / 2013 ,с 254-260

81. В. Л. Доброскок, Ю. Б. Витязев, Л. Н. Абдурайимов Високі технології в машинобудуванні = High technologies of machine-building : // зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2012. – Вип. 1 (22). – С. 94-107.

82. Об утверждении Положения о порядке выполнения работ (оказания услуг) по технической защите информации. Приказ государственного центра безопасности информации при президенте Республики Беларусь 26 июля 2007 г. № 8

83. МДС 81-27.2007 Методические рекомендации по применению государственных элементных сметных норм на пусконаладочные работы, федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Росстрой), 2007 г

84. Попок, Н.Н. Методология исследования процесса резания материалов в современных условиях развития машиностроения / Н.Н. Попок // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Серия В, Прикладные науки. Промышленность. – 2019. – № 10. – С. 21–30.

85. Грубый, С.В. Моделирование процесса резания твердосплавными и алмазными резцами / С.В. Грубый. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 107 С.

86. Грубый, С.В. Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами / С.В. Грубый. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 149 С.

87. Режущий инструмент со сменной режущей пластиной: пат. 19226 Респ. Беларусь, МПК В 23В 1/00, 27/00. / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, Р.С. Хмельницкий, А.В. Сидикевич, И.Я. Сопиков ; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а.20110026; заявл. 06.01.2011.

88. Голембиевский А.И. Современная парадигма познания металлорежущих станков /А.И. Голембиевский. – Новополоцк: Полоц. Гос. ун-т, 2021. – 224 с.

89. Голембиевский А.И. Эволюция развития сложных формообразующих групп металлорежущих станков / А.И. Голембиевский // Вест. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2017. - № 11. С. 2 - 8.
90. Голембиевский А. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2017. – 236 с.
91. Устройство для синхронизации приводов исполнительных органов шлицефрезерного станка: пат.16976 (BY), В 23Q 15/00, В 23F 9/10 / А.И. Голембиевский: заявитель Полоц. гос. ун-т – опубл. 26.12.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац.центр. інтэлектуал. уласнасці. – 2012.
92. Двухшаговый червяк: патент 2020326 (RU), F16H 1/16 / А.И. Голембиевский, В.А. Петров: заявитель Полоц. гос. ун-т; опубл. 1994 // Бюл. Изобретений. – 1994. – № 18.
93. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : статистический отчет. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019. – Режим доступа : <http://www.belstat.by>. – Дата доступа : 30.07.2019. 17-30.
94. Иванов, В. П. Охрана труда рабочих и защита окружающей среды от вредного влияния нефтесодержащих отходов : научное издание / В. П. Иванов, В. А. Дронченко. – Новополоцк: ПГУ, 2016. – 248 с.
95. Основы общей экологии и международной экологической политики : учеб. пособие для вузов / Р. А. Алиев [и др.] ; МГИМО МИД России. – М. : Аспект Пресс, 2014. – 382 с.
96. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимов [и др.]. – М. : ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2000. – 424 с.
97. Дронченко, В. А. Утилизация отработавших пластичных смазок / В. А. Дронченко // Горная механика и машиностроение. – 2015. – № 4. – С. 85 – 89.
98. Республика Беларусь Ежегодный статистический отчет [Электронный ресурс] : статистический ежегодник 2016. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016. – Режим доступа : <http://www.belstat.by>. – Дата доступа : 17.08.2017. 14-30.
99. Чеботарев, П. А. Охрана атмосферного воздуха от загрязнения углеводородами нефтяного генеза и оценка риска их влияния на состояние здоровья населения / П. А. Чеботарев. – Барановичи : Барановичская укрупненная типография, 2005. – 152 с.
100. Fairbrother, A. Risk assessment: lessons learned / A. Fairbrother. – Environ. Toxicol. And Chem. – 2002. – Vol. 21, № 11. – P. 2261 – 2263.

101. Булавка, Ю. А. Гигиеническая характеристика условий труда на производстве смазочных масел и битумов / Ю. А. Булавка // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены; гл. ред. Л. В. Половинкин. – Минск : ГУ РНМБ, 2011. – Вып. 18. – С. 3 – 8.
102. Михайлов, Ю. М. Промышленная безопасность и охрана труда. // Справочник руководителя (специалиста) опасного производственного объекта : справочник / Ю. М. Михайлов. – М. : Альфа-Пресс, 2014. – 232 с.
103. Профессиональный риск для здоровья работников : руководство / под ред. Н. Ф. Измерова, Э. И. Денисова. – М. : Тровант, 2003. – 448 с.
104. Кученева, Е. Е. Снижение профессиональных рисков на основе комплексной системы управления безопасностью труда предприятия химической промышленности : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Е. Е. Кученева. – Минск, 2009. – 130 с.
105. Сухонослова, А. Н. Совершенствование оценки класса опасности нефтесодержащих отходов и способа их обезвреживания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 03.00.16 / А. Н. Сухонослова. – Уфа, 2009. – 18 с.
106. Хоружая, Т. А. Оценка экологической опасности / Т. А. Хоружая. – М. : Кн.–Сервис, 2002. – 203 с.
107. Дмитриева, Т. С. Методика оценки рисков выбросов промышленных предприятий и их влияние на величину ущербов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.36 / Т. С. Дмитриева. – Тараз, 2010. – 19 с.
108. Евдокимов, А. Ю. Экологические проблемы утилизации отработанных смазочных материалов / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1989. – 64 с.
109. Чеботарев, П. А. Оценка риска производственно обусловленных заболеваний в производстве масел нефтеперерабатывающего предприятия : сб. науч. тр. / П. А. Чеботарев, Я. Ю. Ковалева, Ю. А. Булавка // Здоровье и окружающая среда. – Минск, 2009. – Вып. 13. – С. 229 – 234.
110. Булавка, Ю. А. Анализ заболеваемости с временной нетрудоспособностью работников производств смазочных масел, битумов и присадок / Ю. А. Булавка, П. А. Чеботарев // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Респ. науч.-практ. центр гигиены, Белор. науч. о-во гигиенистов ; редкол. : Л. В. Половинкин [и др.]. – Минск : ГУ РНМБ, 2012. – Вып. 20. – С. 29 – 36.

111. Ефремова, О. С. Опасные и вредные производственные факторы и средства защиты работающих от них : практическое пособие / О. С. Ефремова. – М. : Альфа-Пресс, 2009. – 304 с.
112. Мажугин, Е.И. Центробежная очистка моющих растворов при ремонте сельскохозяйственной техники : монография / Е.И. Мажугин, А.Л. Казаков, А.В. Пашкевич. – Горки : БГСХА, 2015. – 185 с.
113. Литвинова, Т. А. Экологические аспекты обезвреживания и утилизации углеводородсодержащих отходов нефтегазового комплекса : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 03.02.08 / Т. А. Литвинова. – Краснодар, 2011. – 23 с.
114. Асаёнок, И. С. Среда обитания : риск, здоровье, экономика : монография / И. С. Асаёнок. – Минск : Бестпринт, 2006. – 221 с.
115. Стратегия устойчивого развития Беларуси: экологический аспект / Е. А. Антипова [и др.]. – Минск : ФУАинформ, 2014. – 336 с.
116. Костылева, Л. Н. Геоэкологический анализ и оценка риска загрязнения атмосферы : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Л. Н. Костылева. – Воронеж, 2009. – 24 с.
117. Иванов, В. П. Обеспечение безопасной работы оборудования нефтехимического комплекса : научное издание / В. П. Иванов, А. В. Крыленко. – Новополоцк : ПГУ, 2015. – 180 с.
118. Иванов, В. П. Утилизация нефтесодержащих отходов вспомогательного производства нефтехимических предприятий / В. П. Иванов, В. А. Дронченко // Природопользование: сб. науч. тр. / Ин-т природопользования НАН Беларуси. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 136 – 145.
119. Пухов, Е. В. Совершенствование системы утилизации отходов предприятий технического сервиса транспортных и технологических машин АПК : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : 05.20.03 / Е. В. Пухов. – Воронеж, 2013. – 35 с.
120. Оборудование для приготовления, подачи, очистки и утилизации СОЖ: каталог. – М. : ИКФ Каталог, 1999. – 122 с.
121. Ставки экологического налога [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31800029&p1=1&p5=0>. – Дата доступа : 03.04.2018.
122. Евдокимов, А. Ю. Использование отработанных смазочных материалов в капиталистических странах / А. Ю. Евдокимов, И. Г. Фукс. – М. : ЦНИИТЭИМС, 1989. – 51 с.

123. Фитч, Дж. Анализ масел. Основы и применение: пер. с англ. / Дж. Фитч, Д. Тройер. – 2-е изд. – СПб. : Профессия, 2015. – 176 с.
124. Тельнов, Н. Ф. Ремонт машин / Н. Ф. Тельнов – М. : Агропромиздат, 1992. – 558 с.
125. Иванов, В. П. Технология, оснащение и организация ремонтно-восстановительного производства : учебник / В. П. Иванов [и др.]. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2015 – 551 с.
126. Гурвич, Л. М. Рекомендации по применению новых средств очистки машин и деталей при ремонте / Л. М. Гурвич. – М. : ГОСНИТИ, 1975. – 104 с.
127. Фокин, О. И. Совершенствование технологии регенерации моющих растворов на предприятиях технического сервиса агропромышленного комплекса : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / О. И. Фокин ; ФГОУ ВПО МГАУ им. В. П. Горячкина. – М., 2009. – 19 с.
128. Каталог товаров. Смазка для опалубок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minsk.deal.by/Smazka-dlya-opalubki.html>. – Дата доступа : 11.10.2017.
129. Каталог цен на эмульсолы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marketoil.by/magazin/folder/zhidkostiformovochnye>. – Дата доступа : 01.11.2017.
130. Стырыкович, М. А. Энергетика и окружающая среда / М. А. Стырыкович // Теплоэнергетика. – 1975. – № 4. – С. 2–5.
131. Сигал, И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И. Я. Сигал. – Л. : Недра, 1988. – 312 с.
132. Зоря, Е. И. Нефтепродуктообеспечение. Традиционные и альтернативные топлива : учеб. пособие для вузов / Е. И. Зоря, О. В. Лощенкова, Ю. Н. Киташов ; РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. – М. : ИЦ РГУ нефти и газа, 2012. – 527 с.
133. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт : ТКП 17.08-01-2006. – Введ. 01.05.2006. – Минск : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2006.
134. Установки котельные. Установки, работающие на газообразном, жидком и твердом топливе. Нормы выбросов загрязняющих веществ : СТБ 1626.1–2006. – Введ. 01.07.2006. – Минск : Беларус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 8 с.
135. Кодекс Республики Беларусь о налогах (особенная часть) : принят 29 декабря 2009 г. : с изм. и доп., вступившими в силу с 01.07.2015, № 71-3. – Минск, 2015.

136. Ставки экологического налога [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31800029&p1=1&p5=0>. – Дата доступа : 03.04.2020.

137. Об утверждении классов опасности загрязняющих веществ в атмо-сферном воздухе и установлении порядка отнесения загрязняющих веществ к определенным классом опасности загрязняющих веществ: постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь, 30 июн. 2009 г., № 76. – Минск, 2009.

138. Сигал, И. Я. Очистка промышленных выбросов от оксидов серы и азота / И. Я. Сигал, В. И. Славин, В. В. Шило. – Харьков: Оригинал, 1999. – 142 с.

139. Кирилин, В. А. Энергетика. Главные проблемы / В. А. Кирилин. – М. : Знание, 1990. – 128 с.

140. Зельдович, Я. Б. Окисление азота при горении / Я. Б. Зельдович, П. Я. Садовников, Д. А. Франк-Каменецкий. – М. : Наука, 1974. – 217 с.

141. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : статистический отчет. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019. – Режим доступа : <http://www.belstat.by>. – Дата доступа : 30.07.2019. 17-30.

142. Исследование выхода окислов азота при сжигании топлива в факеле и псевдооживленном слое / И. Я. Сигал [и др.] // Теплоэнергетика. – 1975. – № 12. – С. 30 – 33.

143. Чеботарев, В. И. Оценка достоверности формулы изменения концентрации окислов азота / В. И. Чеботарев, Г. М. Кравченко // Вопросы теплообмена в строительстве. – 1989. – Ростов на Дону. – С. 62 – 64.