

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ISSN 2306-8493

Научно-технический журнал

2021. Т. 12. №1

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38)

Редколлегия:

Председатель:

проф., д-р техн. наук *О.Н. Тулупов*

Заместитель председателя:

проф., д-р техн. наук *О.С. Логунова*

Ответственные редакторы:

доц., д-р техн. наук *С.М. Андреев*

ст. преп. *М.В. Андросенко*

вед. инженер *О.В. Батраева*

канд. ист. наук *О.А. Голубева*

доц., канд. филос. наук *Е.Г. Зиновьева*

доц., канд. техн. наук *Ю.Н. Кондрашова*

доц., канд. ист. наук *Н.Н. Макарова*

канд. техн. наук *П.Н. Мишуров*

канд. пед. наук *Е.А. Москвина*

Главный редактор:

канд. техн. наук *С.В. Пыхтунова*

Редактор: *Н.П. Боярова*

Технический

редактор: *Т.В. Леонтьева*

© ФГБОУ ВО «МГТУ
им. Г.И. Носова», 2021

Адрес редакции:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».
Тел. (3519) 29-84-63.
E-mail: rio@magtu.ru

Адрес издателя:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск, пр. К.Маркса, 45/2,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
издательский центр.

Адрес типографии:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
участок оперативной полиграфии.

Сведения о журнале размещаются
в базах данных РИНЦ, ВИНИТИ
и в сети Интернет.

16+, в соответствии с Федеральным
законом №436-ФЗ от 29.12.10.

Выход в свет 13.09.2021 г. Заказ 224.
Тираж 300 экз. Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

Габбасов Б.М., Томилина Н.Г., Багдасарян М.А.

Анализ технического состояния и оценка ресурса электрооборудования
ПАО «ММК» 3

Суслов Н.М., Чернухин С.А.

Эффективное использование гидропривода механизма шагания
экскаватора-драглайна 7

Лукьянов В.А., Лукьянова Е.В.

Экономическая оценка эффективности транспортно-логистической схемы
доставки готовой продукции 10

Петrochenko Е.В., Молочкова О.С., Рахматуллина Т.Р.

Повышение специальных и механических свойств сложнелегированных белых
чугунов модифицированием кальций-стронциевым карбонатом 12

Сметнёва Н.Ю., Харитонов В.А.

Направления совершенствования технологии производства закаленно-
отпущенной пружинной проволоки 16

Макарова И.В., Ерин А.А.

Мероприятия по увеличению кампании доменной печи в условиях доменного
цеха ПАО «ММК» 21

Потапов М.Г., Юмбаев А.А.

Влияние параметров высокотемпературной обработки расплава (ВТОР)
на механические свойства отливок из легированного чугуна 23

Румянцев М.И., Завалицин А.Н., Колыбанов А.Н.

Математическое обеспечение цифрового двойника с целью прогнозирования
параметров прокатки 28

Свечникова Н.Ю., Пузина А.С., Селиверстова Т.Ю.

Изучение отходов углеобогащения с целью возможности их использования
в качестве сырья для получения генераторного газа в процессе газификации ... 32

Налимова М.В., Бабаджанова З.С.

Повышение износостойкости поверхностного слоя деталей на основе
применения прогрессивных методов обработки 35

Бунеева Е.А., Столяров А.М.

Анализ температурно-скоростного режима отливки толстых слябов из трубной
стали 38

Крылова С.А., Букина А.А., Давлетбердина Н.Р.

Установление метрологических характеристик при измерении водородного
показателя (pH) в условиях учебной лаборатории 40

Шарафутдинов Д.М., Корнилов Г.П., Белевский Л.С.

Разработка схемы источника токовых импульсов для нанесения покрытий 44

Федорова А.Р., Шпак В.А., Лукьянов Г.И.

Разработка программного модуля для выявления конфиденциальной
информации в звуковых файлах 48

Махмутова М.В., Гаврилова И.В., Масленников Н.В.

Автоматизация деятельности спортивной организации 51

Гаврилова И.В., Каргин А.Д.

Архитектура конструктора логопедических компьютерных игр 55

Дудоров Е.А., Котова К.А.

Система управления манипулятором робототехнического комплекса
для обслуживания механизмов сцепки и тормозной системы железнодорожных
вагонов 58

Николаев А.А., Гилемов И.Г., Буланов М.В., Афанасьев М.Ю., Шахбиева К.А., Лаптова В.А. Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов четырехклетьевого стана ППП ХП ЧЕРМК ПАО «Северсталь» с питающей сетью 10 кВ.....	65
Суходоев В.А., Егорова Л.Г. Алгоритмическое обеспечение для автоматизации комплекса задач системы охраны труда и техники безопасности на промышленном предприятии	75
Корнилов Г.П., Медведев Н.М., Кондрашова Ю.Н. Анализ загруженности линий и качества электроэнергии на подстанции Смеловская 500 кВ	79
Работников М.А. Ключевые аспекты проблематики динамического моделирования в задачах предиктивного управления непрерывными технологическими процессами	84
Лимарев А.С., Мезин И.Ю., Воротников М.Ю. Обзор возможности применения электромобилей	87
Кадченко С.И., Ставцева А.В., Рязанова Л.С. Решение обратных спектральных задач на квантовых графах, моделирующих ароматические соединения	91
Сергеева Е.В. Современные особенности преподавания математики в техническом вузе.....	96
Белов В.К., Кривко О.В., Губарев Е.В., Демчук Ф.А., Погонин Е.Ю., Самородова Э.Г. Выявление причин пыления покрытия при штамповке деталей из горячеоцинкованного листа	99
Белов В.К., Губарев Е.В. Методика определения площади контакта шероховатых поверхностей	104
Медяник Н.Л., Смирнова А.В., Горбулина Д.П. Необходимость исследования вещественного состава титаномагнетитовых руд Волковского месторождения при выборе способа технологической переработки	108
Зяблицева М.А., Додонова Н.А. Применение дигидрокверцетина в производстве молочных продуктов	111
Зяблицева М.А., Витушкина А.С. Развитие рынка общественного питания Франции	114
Ханнанова А.Р., Волкова Е.А. Мотивация персонала в период пандемии	117
Бондаренко Т.А., Бондарев Е.С. Пример применения комплексных чисел при исследовании электрических цепей переменного тока.....	120
Тарасюк Е.В., Коляда Л.Г., Гришина Е.К. Исследование миграции олова из консервной тары.....	123
Торшина О.А., Москвина Е.А., Блинова В.В. Автоматизация многокритериальной категоризации корпоративной почты при помощи сверточных нейронных сетей.....	126
Тарасюк Е.В., Коляда Л.Г., Кутасеевич П.С. Особенности синтеза наночастиц серебра	130

УДК 621.3

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКА РЕСУРСА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПАО «ММК»

Габбасов Б.М., Томилина Н.Г., Багдасарян М.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», Магнитогорск

Аннотация. Ресурс сложных технических систем электрооборудования, систем машин, приборов, инструментов и сооружений является важной технико-экономической характеристикой. Фактический ресурс должен быть согласован с оптимальными значениями срока службы. Однако в большинстве отраслей назначенный ресурс не достигает оптимальных с экономической точки зрения значений, а по ряду изделий средний фактический ресурс оказывается меньше назначенного. Повышение надежности достигается за счет раннего обнаружения дефектов и неисправностей, а также своевременно проведенного планово-предупредительного ремонта, что может устранить их во время технического обслуживания и исключить отказы во время работы, а также увеличить срок службы оборудования.

Ключевые слова: электрооборудование, техническое обслуживание, отказ, экономический эффект.

Актуальность исследований технического состояния и предельного ресурса оборудования обусловлена следующими причинами:

- неуклонным возрастанием доли оборудования, отработавшего расчетный срок эксплуатации;
- удлинение сроков службы объектов при частичной замене и ремонте оборудования обеспечивает повышение экономической эффективности предприятия;
- вопросы оценки и прогнозирования остаточного ресурса имеют большое значение для минимизации непроизводительных затрат.

Техническое обслуживание и ремонт оборудования в большинстве отраслей построены по системе планово-предупредительных ремонтов. Назначение одинакового межремонтного периода для оборудования при различном его износе приводит к неоправданному расходу материальных ресурсов [1].

На отечественных предприятиях наряду с выходом из строя отдельных элементов системы электроснабжения в процессе эксплуатации, связанным с браком изготовителей или повреждениями при монтаже, происходит общее старение объектов электроснабжения, находящихся в исправном состоянии [2, 3]. Это вызвано коррозионными процессами в металлических деталях, повреждениями в результате воздействия климатических условий и человеческих факторов.

На рис. 1 представлены возрастные показатели электрооборудования по данным Федеральной сетевой компании. Аналогичная ситуация наблюдается в сетях электроснабжения ПАО «ММК». Более 50% трансформаторов в подразделениях

Управления главного энергетика эксплуатируется сверх нормативного срока. Это оборудование не выработало эксплуатационный ресурс, заложенный изготовителем, благодаря своевременному техническому обслуживанию. Но продление срока его эксплуатации требует квалифицированной оценки текущего состояния и применения научно-обоснованной методики расчета остаточного ресурса [4, 5].

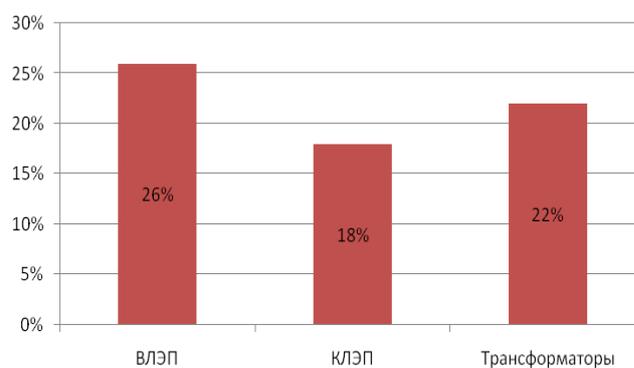


Рис. 1. Доля основного сетевого оборудования, отработавшего свой ресурс согласно ПАО «ФСК ЕЭС»

На рис. 2 приведено соотношение отказов высоковольтного оборудования цеха электросетей и подстанций по видам отключений. Суммарное количество отказов воздушных и кабельных линий превышает 51%. В работе выполнен анализ причин отключений, учитывалось влияние природных условий, человеческий фактор, неисправности релейной защиты.

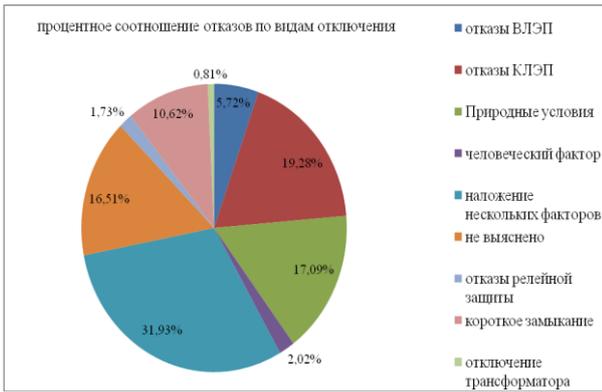


Рис. 2. Процентное соотношение отказов оборудования цеха электросетей и подстанций по видам отключений

В работе выполнен обзор существующих методов анализа технического состояния и прогнозирования ресурса оборудования (рис. 3). Эти методы делятся на четыре группы.

Статистические методы требуют большого объема исходной информации. Хотя в условиях эксплуатации выборки, как правило, неполные, а обрабатываемые данные имеют высокую степень неопределенности. Однако при ответственном подходе данные методы дают наиболее точные результаты.

В детерминированных методах оценки ресурса используют аналитические зависимости, связывающие время до разрушения объекта с характеристиками эксплуатационных нагрузок и параметрами физико-химических процессов. Они

применимы, например, для оценки ресурса трансформаторов.

Физико-статистические методы учитывают влияние разнообразных физических факторов, способствующих развитию деградационных процессов. Экспертные методы оценки и прогнозирования ресурса связаны с ограничениями в выборе экспертов и их субъективностью.

Были применены подходы, основанные на рассмотрении основных понятий теории надежности. Наиболее информативной функцией, по которой можно судить о работоспособности для невозстанавливаемых объектов является функция интенсивности отказов, для восстанавливаемых – параметр потока отказов.

Проверку гипотезы о выработке ресурса при наличии данных об отказах по годам эксплуатации, предложено осуществлять на основании критерия Кендалла. В дополнение к коэффициенту Кендалла рассчитывался коэффициент выборочной корреляции между годами эксплуатации и усреднёнными количествами отказов за год (рис. 4).

По собранным статистическим данным выполнен расчет показателей надежности и ресурса оборудования воздушных и кабельных линий. Воздушная линия напряжением 110 кВ наиболее подвержена старению. Нарботка на отказ равняется 4 годам (табл. 1). Для воздушной линии это является критичным, так как это время меньше периода капитального ремонта, равного 5 годам.



Рис. 3. Методы анализа технического состояния и прогнозирования ресурса оборудования

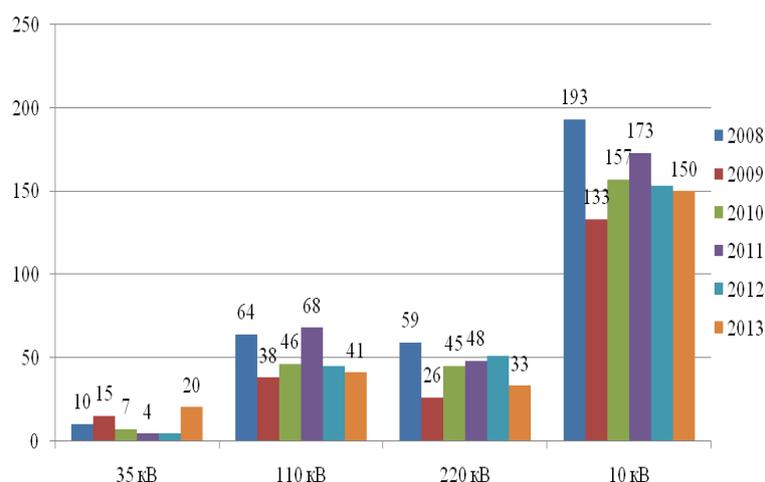


Рис. 4. Статистика отключений цеха электросетей и подстанций за 2008-2013 гг.

Таблица 1

Расчетные характеристики электрооборудования

Наименование (количество данного электрооборудования, шт.)	ВЛЭП 110 кВ (51 шт.)	КЛЭП 35 кВ (43 шт.)	Трансформаторы 10 кВ (116 шт.)
Наработка на отказ, год	4	2,5	58
Среднее число отказов на единицу оборудования	0,86	2,88	0,12
Табличное значение распределения Стьюдента	2,015	2,015	2,015
Квантиль нормального стандартного распределения	1,645	1,645	1,645
Точечная интенсивность отказов, 1/ч (1 км/год для линий)	1,41E-5	4,07E-5	1,97E-6
Вероятность безотказной работы за время t_0	0,884	0,662	0,983
Коэффициент корреляции	0,066	0,397	0,478
Расчетное значение $t_{расч}$	0,148	0,969	1,217
Нижняя доверительная оценка наработка на отказ, ч	55270	18314	324989
Верхняя доверительная оценка наработка на отказ, ч	92807	24804	840194
Нижняя граница P_n	-0,553	-0,921	-0,958
Верхняя граница P_v	0,685	0,126	0,002
Нижняя доверительная оценка, 1/ч	1,08E-5	4,03E-5	1,96E-6
Верхняя доверительная оценка, 1/ч	1,81E-5	5,46E-5	3,08E-6
Значимость связи $t_{расч} > t_{табл}$	Нет	Нет	Нет
Старение наблюдается	Да	Да	Нет
Сумма отказов за период	44	124	14

В критическом состоянии находится кабельная линия 35 кВ. Наработка на отказ равняется 2 годам, что значительно ниже норматива. Вместе с тем установлено, что параметр потока отказа для этих линий находится на допустимом уровне. Это значит, что данное оборудование может находиться в эксплуатации, но следует обратить на него дополнительное внимание.

Рекомендовано внедрить современные диагностические системы непрерывного контроля технического состояния воздушных и кабельных линий. Эффективность внедрения современных диагностических систем подтверждена исследованиями многих авторов.

Далее в работе выполнена оценка ожидаемой экономической эффективности проведения мероприятий по совершенствованию технического об-

служивания (табл. 2). Используются данные ПАО «Московская объединённая электросетевая компания» о средней стоимости и длительности ремонта электрооборудования, представленные на слайде.

Из приведенных данных следует, что время ремонта и технического обслуживания составляет небольшую часть общего времени эксплуатации. Однако при их проведении снижается надежность электроснабжения из-за перегрузок либо ограничивается количество передаваемой электроэнергии. Оценка экономической эффективности выполнена по методике, разработанной в Ивановском государственном энергетическом университете. Она предусматривает расчет стоимости ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния.

Таблица 2

Расчет экономической эффективности мероприятий

Наименование исследований	КЛЭП 35 кВ	ВЛЭП 110 кВ
Максимальное количество отказов	19 в 2008 году	12 в 2010 году
Минимальное количество отказов	7 в 2013 году	2 в 2013 году
Затраты на капитальный ремонт – 100%, тыс. руб.	2500	450
Затраты на текущий ремонт – 10% от капитального ремонта, тыс. руб.	250	45
Затраты на техническое обслуживание – 1% от капитального ремонта, тыс. руб.	25	4,5
Затраты на диагностирование – 5% от капитального ремонта, тыс. руб.	125	22,5
Затраты на послеаварийный ремонт – 110% от капитального ремонта, тыс. руб.	2750	495
Затраты на ремонт после ликвидации аварии при максимальном количестве отказов, тыс. руб.	52250	5940
Затраты на ремонт после ликвидации аварии при минимальном количестве отказов, тыс. руб.	19 250	990
Затраты после проведения ремонта по состоянию при максимальном количестве отказов, тыс. руб.	7 600	864
Затраты после проведения ремонта по состоянию при минимальном количестве отказов, тыс. руб.	2 800	144
Экономический эффект, %	85 %	85 %
Экономический эффект от максимального количества отказов, млн руб.	44,65	5,076
Экономический эффект от минимального количества отказов, млн руб.	16,45	0,846

Ожидаемый экономический эффект от внедрения мероприятий составляет 85% от номинальной стоимости ремонта без стоимости заменяемых частей. Эти данные получены исходя из затрат на один ремонт для одной линии.

Список литературы

1. Таджикибаев А.И. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. СПб.: ПЭИПК, 2004. 198 с.
2. Фокин Ю.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. М.: Высш. шк., 1989. 149 с.
3. Лукьяненко В.И., Воробьева Н.В., Воробьев Ю.В. Оценка остаточного ресурса технического оборудования в единичном исполнении // Вестник ТГТУ. Т. 18. №4. 2007.
4. Нечеткие алгоритмы оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования / Н.В. Костерев, Е.И. Бардик, Р.В. Вожаков, Т.Ю. Курач. М.: Энергия, 2003. 140 с.
5. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем: учеб. пособие для вузов. Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. университета, 2010. 218 с.

Сведения об авторах

Габбасов Булат Маратович – канд. техн. наук, доцент кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Томилина Нурия Гумаровна – канд. техн. наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: t.nuria@yandex.ru.

Багдасарян Маргар Аветикович – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.879.323

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ ЭКСКАВАТОРА-ДРАГЛАЙНА

Суслов Н.М., Чернухин С.А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург

Аннотация. В статье произведен анализ основных недостатков гидравлического привода механизма экскаватора-драглайна. На основе анализа предложены варианты решения данных недостатков, позволяющие повысить эффективность гидравлического привода механизма шагания. Наиболее выгодным решением является использование гидроаккумуляторов в гидросистеме привода механизма шагания с целью рекуперации энергии для осуществления перемещения машины.

Ключевые слова: экскаватор-драглайн, гидропривод, шагающий механизм, гидроаккумуляторы, повышение эффективности.

Увеличение объемов потребления полезных ископаемых, как следствие, ведет за собой увеличение мощностей действующих карьеров, разработку новых площадок по добыче полезных ископаемых, повышение эффективности горных машин, применяемых при добыче. Наиболее распространённый вид добычи полезных ископаемых – это открытая разработка. Согласно приведенным данным [1] в Российской Федерации около 93% от общего объема железной руды добывается открытым способом, 70% угля также добываются на карьерах и практически весь объем строительных материалов, поставляемый на рынок, добывается карьерным способом [2]. Основным оборудованием на перечисленных производственных площадках являются экскаваторы-драглайны, они незаменимы при выполнении вскрышных работ, и отлично подходят для ведения добычных работ. Применение таких машин обусловлено их высокой производительностью и самоходностью машины. Такие преимущества делают драглайны уникальными машинами. Огромные длины стрел и транспортировка больших объёмов экскавируемой породы придают экскаваторам большие массы. Из-за низких несущих способностей грунтов на карьерах использование пневмоколесного и гусеничного хода для перемещения драглайнов невозможно. Для перемещения был разработан специальный трехопорный механизм шагания [3]. Механизм шагания состоит из двух независимых опорных поверхностей – базы и опорных башмаков. База является основной опорной поверхностью при стационарной работе экскаватора, при перемещении масса машины распределяется между двумя опорными башмаками и задней

кромкой базы. За счет больших площадей опорных поверхностей механизм шагания обеспечивает низкое удельное давление на грунт. Работа по перемещению экскаватора зависит от того, каким приводом оснащен механизм шагания. Механизм шагания оснащается механическим приводом и гидравлическим. При оснащении механизма шагания механическим приводом перемещение осуществляется за счет принципа эксцентриситета. Механизм шагания, оснащенный гидравлическим приводом, перемещается за счет попарной работы двух подъемных и двух тяговых гидроцилиндров. Наиболее перспективным приводом является гидравлический за счет возможности регулирования длины шага и обеспечения плавности хода.

Работа по осуществлению шага экскаватора-драглайна, оснащенного трехопорным механизмом шагания с гидравлическим приводом, представленного на рис. 1, осуществляется следующим образом. Перед началом шага посредством выдвижения штоков тяговых гидроцилиндров опорные башмаки подаются в направлении движения машины. Далее подъемными гидроцилиндрами происходит подъем передней кромки базы над поверхностью грунта, обирание машины в текущий момент, происходит на два опорных башмака и заднюю кромку базы. Горизонтальное перемещение машины происходит за счет возвращения штоков тяговых гидроцилиндров в исходное положение. Машина перемещается, волоча заднюю кромку базы по поверхности грунта, опорные башмаки остаются неподвижны относительно поверхности грунта. По окончании шага опорные башмаки возвращаются в подвешенное состояние над поверхностью грунта. Для осуществления следующего шага цикл повторяется.

Анализ работы [4] трехопорного гидравлического шагающего механизма помог выявить основные недостатки, присущие такому типу механизма передвижения: необходимость поднятия передней кромки базы на значительную высоту для обеспечения требуемой длины шага, дополнительное пригружение задней кромки базы при горизонтальном перемещении из-за особенностей крепления тяговых гидроцилиндров, а также отсутствие рекуперации энергии поднятой передней кромки базы [4, 5]. Первые два недостатка устраняются за счет конструктивных изменений, описанных в авторском свидетельстве [6], за счет применения скользунов и горизонтального раз-

мещения тяговых гидроцилиндров на опорных башмаках, устраняется дополнительное пригружение задней кромки базы при шаге и исчезает необходимость подъема передней кромки базы на значительную высоту. Для обеспечения возможности рекуперации потенциальной энергии поднятой передней кромки базы в гидравлическую систему механизма шагания [7] предлагается встроить гидроаккумуляторы, позволяющие аккумулировать энергию в момент опускания базы на грунт и обеспечивать плавность опускания базы.

Реализация предлагаемого решения осуществляется согласно гидравлической схеме, представленной на рис. 2.

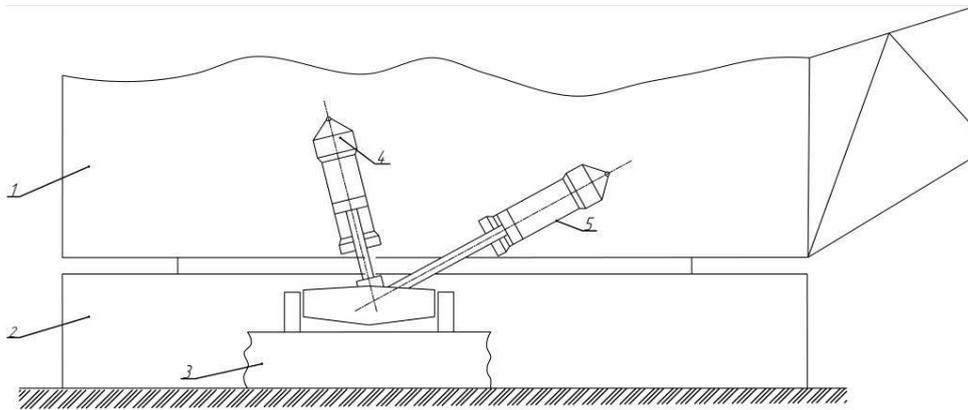


Рис. 1. Трехопорный механизм шагания экскаватора-драглайна с гидравлическим приводом:
1 – корпус экскаватора; 2 – база; 3 – опорный башмак; 4 – подъемный гидроцилиндр; 5 – тяговый гидроцилиндр

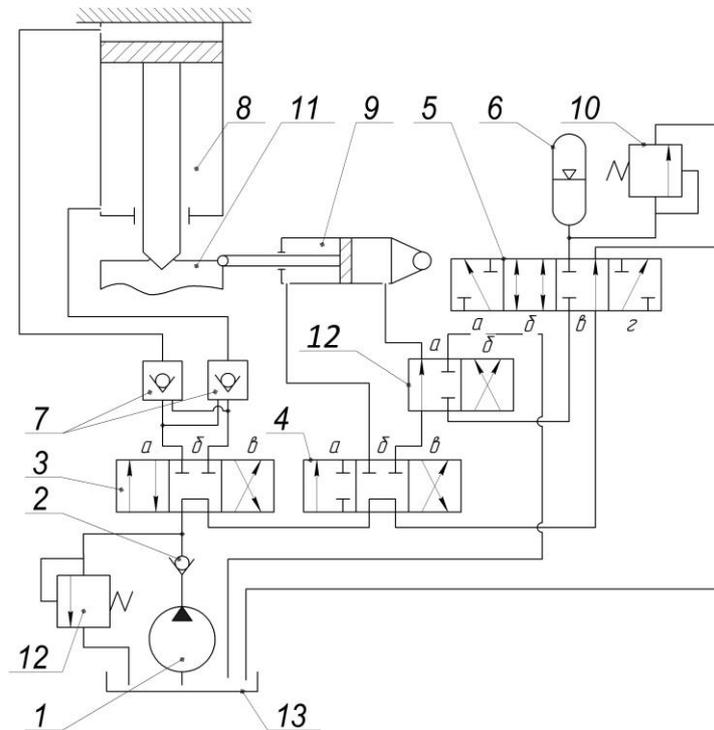


Рис. 2. Гидравлическая схема механизма шагания экскаватора-драглайна:
1 – насосная установка; 2 – обратный клапан; 3-5, 12 – распределители; 6 – гидроаккумулятор; 7 – гидрозамок;
8 – подъемный гидроцилиндр; 9 – тяговый гидроцилиндр; 10, 12 – разгрузочный клапан; 11 – скользуны;
13 – сливной бак

Работа гидравлического привода механизма шагания, оснащенного гидроаккумуляторами, осуществляется следующим образом. Перед началом первого шага при помощи давления, создаваемого насосом 1, рабочая жидкость поступает в штоковую полость тягового гидроцилиндра 9 через распределители 3 (положение *б*), 4 (положение *а*). Рабочая жидкость из поршневой полости тягового гидроцилиндра 9 через распределители 12 (положение *б*) и 5 (положение *з*) по сливной магистрали уходит в сливной бак 13. Опорные башмаки подаются в направлении движения. После подачи опорных башмаков происходит их опускание на грунт. При помощи давления, создаваемого насосной установкой 1, рабочая жидкость через распределитель 3 (положение *а*) проходит гидрозамок 7 и попадает в поршневую полость подъемного гидроцилиндра 8, вытесняя рабочую жидкость из штоковой полости, которая, проходя через распределители 3 (положение *а*), 4 (положение *б*) и 5 (положение *в*), направляется в сливной бак. Далее при помощи давления из гидроаккумулятора 6 через распределители 5 (положение *б*), 12 (положение *б*) рабочая жидкость поступает в поршневую полость тягового гидроцилиндра 9, происходит перемещение экскаватора-драглайна по мере разрядки гидроаккумулятора. Рабочая жидкость, вытесняемая из штоковой полости тягового гидроцилиндра 9 при перемещении драглайна, поступает через распределители 4 (положение *в*) и 5 (положение *б*) по сливной магистрали в сливной бак 13. После завершения шага база драглайна опускается на грунт, в этот момент в результате вытеснения рабочей жидкости из поршневой полости подъемного гидроцилиндра 8 происходит зарядка гидроаккумулятора 6. Рабочая жидкость из поршневой полости подъемного гидроцилиндра 8 через распределители 3 (положение *в*), 4 (положение *б*) и 5 (положение *а*)

поступает в гидроаккумулятор 6. Для осуществления последующих шагов цикл повторяется.

Применение гидроаккумуляторов в гидравлической системе привода механизма шагания позволяет аккумулировать потенциальную энергию поднятой передней кромки базы с целью дальнейшего ее использования при перемещении машины. Такое решение в совокупности с решениями описанными в авторском свидетельстве [6], позволяет повысить эффективность работы шагающего механизма и эффективность работы экскаватора-драглайна в целом.

Список литературы

1. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Выемочно-погрузочный драглайн с ковшом инновационной конструкции // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 7. С. 149–157. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-149-157.
2. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М. Анализ эксплуатационных показателей горнодобывающего оборудования ведущих железорудных карьеров России // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 2. С. 40–50. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-2-40-50
3. Подэрни Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра. 1985. 544 с.
4. Чернухин С.А. Анализ и перспективы развития шагающего ходового оборудования горных машин // Вестник ЗабГУ. 2018. № 9. С. 29-35.
5. Суслов Н.М., Чернухин С.А. Совершенствование шагающих механизмов, повышающее эффективность их использования // Известия УГТУ. 2018. Вып. 3(51). С. 108-113.
6. А. с. №825806, кл. Е 02 F 9/04. Механизм шагания экскаватора / П.А. Касьянов, Н.М. Суслов. 1981.
7. Суслов Н.М., Чернухин С.А. Гидравлический привод механизма шагания с гидроаккумуляторами // Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 1. С. 3-7

Сведения об авторах

Суслов Николай Максимович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Чернухин Станислав Алексеевич – аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург. E-mail: stas_chernuhin@mail.ru

УДК 656.073.9

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДОСТАВКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Лукьянов В.А., Лукьянова Е.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В работе рассмотрен способ повышения рыночной конкурентоспособности готовой продукции промышленных предприятий за счет сокращения логистических затрат на ее доставку покупателю. Также предложены условия определения цены готовой продукции предприятия в зависимости от транспортно-логистических затрат на ее доставку и сложившейся цены на рынке.

Ключевые слова: конкурентоспособность, цена готовой продукции, рентабельность промышленных предприятий, транспортно-логистические затраты, схема доставки готовой продукции.

Одним из важнейших признаков общей отдачи от производства в условиях рыночной экономики выступают доходность и рентабельность. Управление рентабельностью должно являться одной из главных задач предприятия. Данный показатель позволяет обнаружить просчеты в планировании хозяйственной деятельности предприятий, указать пути дальнейшего развития и выявить резервы максимального увеличения прибыли [1]. Актуальность данной тематики определяется тем, что в современных рыночных условиях без качественного анализа рентабельности предприятия и выявления факторов, влияющих на этот показатель, невозможно повысить уровень получаемых доходов.

Одним из факторов, ограничивающих увеличение эффективности работы промышленных предприятий, является недостаточный уровень согласованности взаимодействия предприятий-поставщиков и предприятий-потребителей, а также транспорта, осуществляющего их обслуживание и взаимосвязь [2]. В условиях рыночной экономики представляет особый интерес изучение транспортно-логистических затрат промышленных предприятий, как играющих важную роль в механизме ценообразования готовой продукции. Также снижение транспортно-логистических затрат позволяет повысить уровень конкурентоспособности и доходности промышленных предприятий [3].

Одним из главных качественных показателей, характеризующих финансовые результаты хозяйственной деятельности предприятий, является прибыль [4]. Между тем цель финансово-хозяйственной деятельности предприятий – не только получение прибыли, но и обеспечение вы-

сокой рентабельности. В отличие от абсолютного показателя прибыли, рентабельность отражает уровень прибыльности относительно определенной базы. Предприятие функционирует эффективно и рентабельно, если суммы выручки от реализации продукции достаточно не только для покрытия затрат на производство и реализацию, но и для образования прибыли. Поэтому одной из актуальных задач современного этапа развития предприятий является не только повышение финансовых результатов их деятельности, но и распределение прибыли для обеспечения роста рентабельности [5].

Продукция предприятия будет конкурентоспособна в том случае, если цена на нее не будет превышать рыночной цены, которую готов заплатить потребитель продукции, что может быть выражено следующим выражением:

$$C_{\text{рын}} \geq C_{\text{прод}} \quad (1)$$

Чем больше разность между рыночной ценой $C_{\text{рын}}$ и ценой продукции $C_{\text{прод}}$, тем выше конкурентоспособность данной продукции и, следовательно, больше объем реализации и выше доходность предприятия [6–8].

Одним из эффективных способов снижения $C_{\text{прод}}$ является снижение транспортно-логистических затрат на доставку готовой продукции $Z_{\text{тл}}$. Изменение величины $Z_{\text{тл}}$ может быть достигнуто, например, за счет таких факторов, как выбор схемы и маршрута доставки готовой продукции. По данным [9] 45,6% всех грузоперевозок в нашей стране приходится на железнодорожный транспорт, при этом средний вес отправки составляет 67,9 тонн, а расстояние транспортирования – порядка 1400 км. При этих данных величина транспортных затрат приводит к увеличению цены перевозимых грузов для покупателя в среднем

на 72%, а при увеличении расстояния перевозки до 1700 км – на 75%. Отсюда видно, что при определении цены готовой продукции необходимо учитывать затраты на ее доставку.

Также необходимо учитывать основные факторы, влияющие на эффективность транспортно-логистической деятельности, такие как высокий уровень динамики рыночной конъюнктуры, дефицит платежных средств, высокий уровень конкуренции. Поэтому при расчете $C_{\text{прод}}$ целесообразно пользоваться следующей формулой, учитывающей транспортно-логистические затраты [10]:

$$C_{\text{прод}} = (C_{\text{отп}} + Z_{\text{л}})(1 + i)^{T/365}, \quad (2)$$

где $C_{\text{отп}}$ – отпускная цена продукции предприятия-изготовителя;

$Z_{\text{л}}$ – логистические затраты на доставку готовой продукции, определяемые как сумма затрат на транспортирование $Z_{\text{тр}}$ и реализацию схемы транспортирования $Z_{\text{р}}$, которые включают в себя оплату услуг логистическим посредникам, компенсацию логистических рисков и т.п.;

i – годовая процентная ставка на капитал;

T – затраты времени на доставку готовой продукции в сутках.

Как видно из (2), наибольшее влияние на отпускную цену продукции предприятия-изготовителя оказывают затраты времени на доставку готовой продукции в сутках T , которые также имеют большое влияние на величину транспортно-логистических затрат.

Поэтому для повышения конкурентоспособности продукции и доходности предприятия необходимо выбирать транспортно-логистические схемы доставки готовой продукции, обеспечивающие минимальные сроки доставки, и чтобы $C_{\text{прод}}$, определенное по (2), удовлетворяло требованию (1).

Таким образом, выбор транспортно-логистической схемы доставки готовой продукции с учетом условий (1) и (2) позволит оценить

ее эффективность и за счет увеличения конкурентоспособности продукции повысить эффективность функционирования промышленного предприятия.

Список литературы

1. Финансовый менеджмент: теория и практика: учебник / под ред. Е.С. Стояновой. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Перспектива, 2006. 654 с.
2. Багинова В.В., Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А. Контроль вагонопотоков на пути неопределенного пользования // Мир транспорта. 2010. №3. С. 108–113.
3. Философова Т.Г., Быков В.А. Конкуренция. Инновации. Конкурентоспособность: учеб. пособие. 3-е изд. М.: ЮНИТИ, 2012. 295 с.
4. Шешукова Т.Г., Рыбалко О.А. Моделирование учетной системы, ориентированной на требования МСФО при осуществлении внешнеэкономических операций // Международный бухгалтерский учет. 2011. №20. С. 27-33.
5. Чараева М.В. Основные направления повышения рентабельности промышленных предприятий в России // Вестник Пермского университета. 2012. Вып. 4 (45). С. 33–39.
6. Карпов А.Л. Конкурентное пространство предприятия и отрасли: монография. Омск: ОмГУ, 2010. 280 с.
7. Лифиц И.М. Теория и практика оценки конкурентоспособности товаров и услуг. 4-е изд., доп. и испр. М.: Юрайт-М, 2010. 224 с.
8. Трубилин А.И., Гайдук В.И., Березенков В.В. Конкурентоспособность продукции и предпринимательских структур // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2012. 01 (075). С. 222 – 246.
9. Отчет ОАО «РЖД» за 2020 г.: материалы сайта www.company.rzd.ru (дата обращения 10.03.2021 г.).
10. Лукьянов В.А., Пономарева О.С. Повышение конкурентоспособности металлургической продукции на внешнем рынке // Актуальные вопросы гуманитарных и социальных наук: сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С. 40–42.

Сведения об авторах

Лукьянов Вадим Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Лукьянова Елизавета Вадимовна – студентка, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 669.131.2:669.046.516.4

ПОВЫШЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ КАЛЬЦИЙ-СТРОНЦИЕВЫМ КАРБОНАТОМ

Петроченко Е.В., Молочкова О.С., Рахматуллина Т.Р.

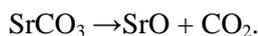
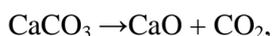
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В работе изучено влияние модифицирования кальций-стронциевым карбонатом и температурных режимов охлаждения металла в литейной форме на механические и специальные свойства жароизносостойких белых чугунов системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti-(Ca,Sr)CO₃. Анализировалась связь между износостойкостью, окалиностойкостью и твердостью чугунов с параметрами структурных составляющих, а именно: объемной долей карбидов, числом карбидов, длиной и площадью карбидов, расстоянием между карбидами и их максимальной площадью. Был проведен корреляционный анализ и множественный регрессионный анализ для выявления зависимости между параметрами структурных составляющих и свойствами чугунов.

Ключевые слова: микролегирование, модифицирование, кальций-стронциевый карбонат, высокохромистые белые чугуны, температурные режимы охлаждения металла в литейной форме, структура.

Повышение механических и специальных свойств белых чугунов можно добиться за счёт применения теоретических и технологических разработок в области управления процессами формирования структуры и свойств: определением соотношений основных химических элементов, комплексным легированием, микролегированием, модифицированием, изменением условий кристаллизации металла в отливках и пр.

При введении карбоната в жидкий расплав чугуна он диссоциирует (без плавления) по следующим реакциям:



Кальций-стронциевый карбонат – это побочный продукт при производстве селитры. По содержанию радионуклидов карбонат стронция не радиоактивен в соответствии с нормами радиационной безопасности НРБ-99. Все вышеперечисленное делает кальций-стронциевый карбонат дешевым, безопасным и эффективным материалом для рафинирования.

Исследования проводили на образцах следующего химического состава, % (масс.): 2,29–2,43 C; 2,15–6,21 Mn; 17,85–18,80 Cr; 0,85–2,16 Ni; 0,21–0,9282 Ti и 1, 5, 6 и 9 кг/т (Ca, Sr)CO₃.

Выплавленные образцы заливали в сухие и сырые песчано-глинистые формы (ПГФ), чугуновый кокиль.

Химический состав чугуна определяли на оптическом эмиссионном спектрометре «SpectromaXx» фирмы «Spectro».

Фазовый состав чугунов изучали с помощью рентгенографического дифрактометра SHIMADZU XRD-7000.

Структуру чугунов исследовали с помощью металлографического метода (световой микроскоп МЕИИ 2700). Количественный металлографический анализ проводили с помощью анализатора изображений Thixomet PRO.

Жаростойкость оценивали по двум показателям – окалиностойкости и ростоустойчивости (ГОСТ 6130-71 и 7769-82).

Сравнительные испытания чугунов на износостойкость при трении о нежесткозакрепленные (полузакрепленные) абразивные частицы проводили по методике, регламентированной ГОСТ 23.208-79.

Микротвердость измеряли на микротвердометре Buehler Micromet 5103. Измерения твердости проводили согласно ГОСТ 9013-59.

Микроструктуру образцов исследуемых чугунов выявляли травлением в реактиве 5 мл HCl + 2 г FeCl₃ + 10 мл H₂O. Такое травление позволило четко выявить границы различных структурных составляющих.

В исходном состоянии (до обработки карбонатом) фазовый состав чугунов представляет собой γ-фазу (аустенит), карбиды типа M₇C₃ и MC. После добавки карбоната фазовый состав и структура чугунов не изменяются. При затвердевании белого чугуна первыми из расплава кристаллизуются карбиды типа MC, далее дендриты твердого раствора и последующая завершающая эвтектическая реакция происходит с образованием аустенитохромистокар-

бидной эвтектики. Структура исходного чугуна состоит из карбидов титана TiC , дендритов твердого раствора, эвтектики и вторичных карбидов M_7C_3 .

Модифицирование карбонатом приводит к измельчению карбидов, их глобуляризации и равномерному распределению в металлической основе. При модифицировании карбонатом очищаются границы зерен от неметаллических включений, всё это способствует повышению износостойкости чугуна.

Окалиностойкость чугуна повышается вследствие образования на поверхности отливки окси-

дной пленки хромата стронция ($SrCrO_4$), которая обладает более высокой плотностью и более устойчивым сцеплением с металлической матрицей, чем оксидная пленка типа шпинели ($FeOCr_2O_3$).

При дальнейшем повышении количества введенного карбоната (до 9 кг/т) карбиды приобретают компактную форму, очень плотно расположены друг другу, вследствие этого нет надежного закрепления карбидов в металлической основе, что приводит к понижению износостойкости (рис. 1-2).

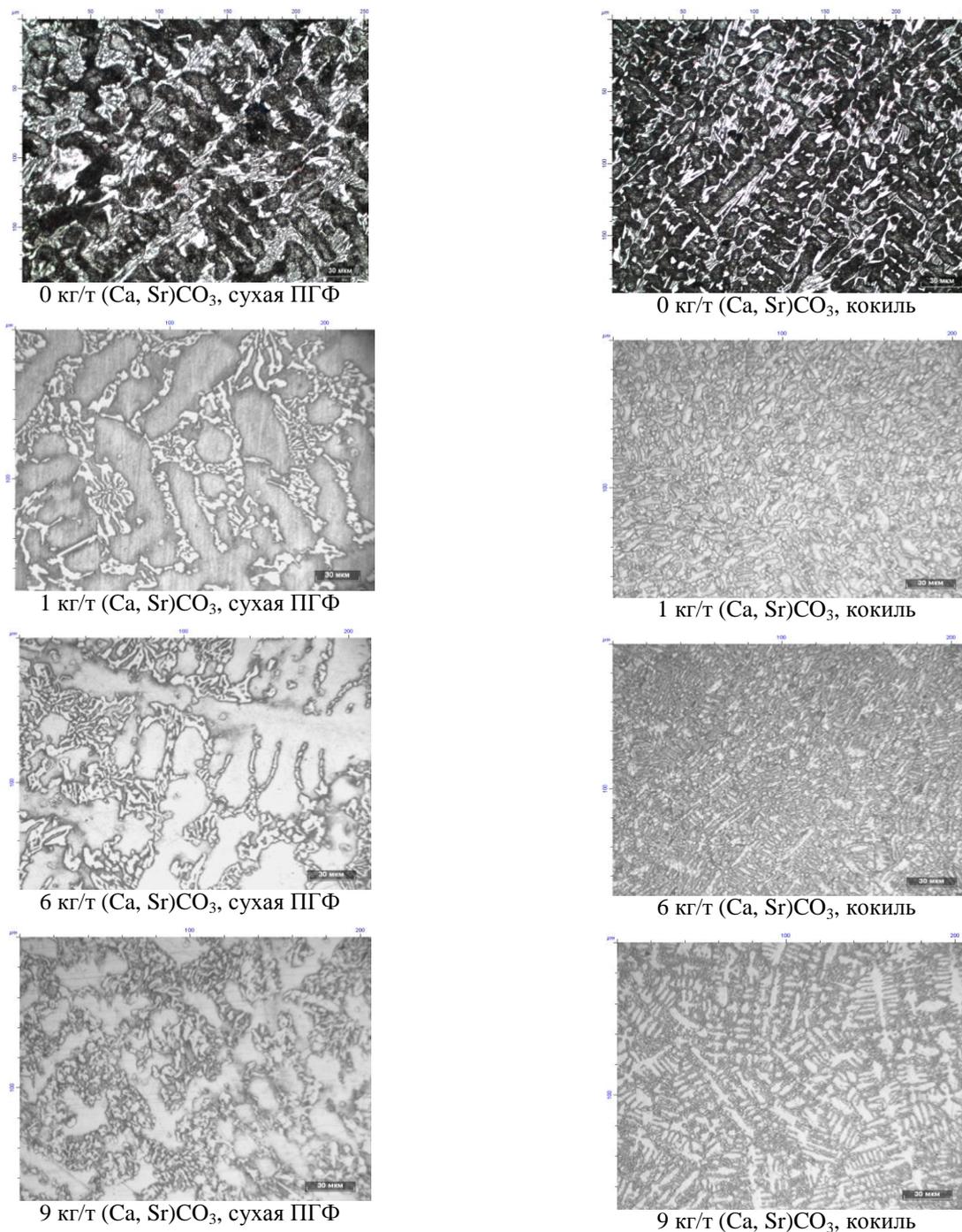


Рис. 1. Микроструктуры исследуемых образцов до и после обработки карбонатом, залитых в разные типы форм

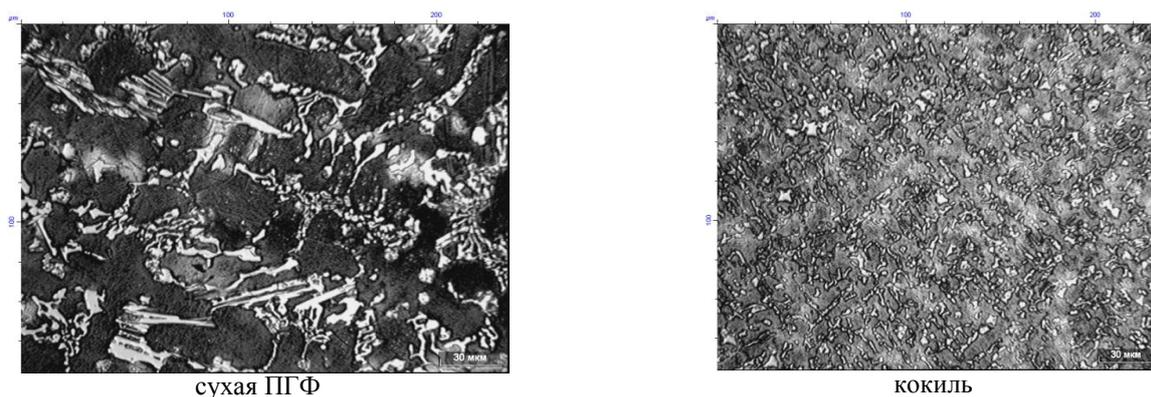


Рис. 2. Микроструктуры исследуемых образцов после обработки карбонатом в количестве 5 кг/т, залитые в разные типы форм

При проведении количественного анализа карбидов в травленном и нетравленном виде изучили параметры структурных составляющих: объемную долю карбидов, число карбидов, длину и площадь карбидов, расстояние между карбидами, максимальный размер карбидов.

Выяснили, что при введении карбоната объемная доля, число карбидов возрастают, а средняя длина включений, площадь включений, расстояние между карбидами изменяются незначительно. Максимальный размер карбидов возрастает при увеличении содержания карбоната.

Механические и специальные свойства (износостойкость $K_{и}$, твердость, окислительная стойкость $h_{ув}$, микротвердость металлической основы $HV_{осн}$ и эвтектики $HV_{эвт}$, ростостойчивость L) исследуемых образцов представлены в таблице.

Механические и специальные свойства исследуемых образцов

Номер образца	$K_{и}$, ед.	Твердость, HRC	$h_{ув}$, г/м ² ·ч	$HV_{осн}$, МПа	$HV_{эвт}$, МПа	L , %
1	4,5	48	0,08	5409	6974	0,16
2	4,8	51	0,1	5174	6270	0,17
3	5,0	53	0,07	8004	5987	-
4	2,5	47	0,0345	5007	6759	0,05
5	3,1	45	0,086	5814	7629	0,02
6	3,6	48	0,46	6002	5060	-
7	5,24	41	0,014	5198	6786	0
8	6,13	43	0,015	3805	6227	0
9	6,57	45,5	0,014	4825	5617	-
10	3,6	47	0,023	5916	7165	0,09
11	4,6	46	0,0485	6225	7512	0,04
12	5,1	47	0,031	6522	5289	-
13	3,0	46	0,044	7365	7810	0,079
14	3,8	47	0,08	6077	7284	0,07
15	4,2	51	0,04	4759	5837	-

При введении карбоната свыше 5 кг/т износостойкость и жаростойкость чугунов снижаются на 30 и 65 % соответственно. Это объясняется тем,

что первичные и вторичные карбиды растут, обедняя вокруг себя легирующими элементами аустенит, данный эффект называется перемодифицированием. Твердость возрастает незначительно на 1-2 единицы HRC.

При введении в исследуемые чугуны 5 кг/т карбоната окислительная стойкость повышается на 25 % вследствие очищения расплава от вредных примесей и образования тугоплавких включений, которые становятся центрами кристаллизации, приводящие к переохлаждению расплава и измельчению структуры, т.е. оксиды CaO и SrO действуют как модификаторы II рода [1].

При меньшем содержании карбоната его рафинирующе-модифицирующее действие не так заметно, твердость изменяется незначительно.

С увеличением скорости охлаждения возрастает объемная доля карбидов, это приводит к повышению твердости. При изменении содержания карбона с 1 до 9 кг/т твердость изменяется с 47 до 51 HRC.

При проведении множественной корреляции анализировалась связь между износостойкостью, окислительной стойкостью и твердостью чугуна с параметрами структурных составляющих, а именно: объемной доли карбидов, числа карбидов, длины и площади карбидов, расстояния между карбидами и их максимальной площади.

- Коэффициент множественной детерминации $D = 0,77$ свидетельствует, что износостойкость чугунов на 77% обусловлена сочетанием параметров структурных составляющих.

- Коэффициент множественной детерминации $D = 0,72$ свидетельствует, что окислительная стойкость чугунов на 72% обусловлена сочетанием параметров структурных составляющих.

- Коэффициент множественной детерминации $D = 0,74$ свидетельствует, что твердость чугунов на 74% обусловлена сочетанием параметров структурных составляющих.

Выводы

В ходе работы было установлено, что наилучшими механическими и специальными свойствами обладает чугун, модифицированный кальций-стронциевым карбонатом в количестве 5 кг/т. Модифицирование привело к диспергированию структурных составляющих и изменению морфологии карбидной фазы – первичных, эвтектических и вторичных карбидов типа M_7C_3 , что способствовало повышению износостойкости чугуна в 1,3 раза, а окалиностойкость увеличилась на 25%.

Список литературы

1. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Инокулирование железо-углеродистых сплавов. М.: Metallurgy, 1993. 416 с.
2. Karantzalis E., Lekatou A. and Mavros H. Microstructure and properties of high chromium cast irons: effect of heat treatments and alloying additions, International Journal of Cast Metals Research, 2009, pp. 448-456.
3. Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Молочкова О.С. Влияние химического состава, условий охлаждения при затвердевании на структуру и свойства жароизносостойких комплекснолегированных железоуглеродистых сплавов // Технология металлов. 2013. № 1. С. 10-14.
4. Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Молочкова О.С. Особенности структуры и свойства жароизносостойких белых чугунов системы Cr-Mn-Ni-Ti // Черные металлы. № 3. 2016. С. 42-48.
5. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Metallurgy, 1983. 176 с.
6. Служебные характеристики микролегированных и модифицированных белых чугунов / М.М. Ямшинский, К.С. Радченко, Г.Е. Федоров, Е.А. Платонов // Литье и металлургия. 2013. №4. С. 29-34.

Сведения об авторах

Петроченко Елена Васильевна – д-р техн. наук, доцент, проф. каф. ЛПИМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID ID: 0000-0002-7166-7895. E-mail: evp3738@mail.ru.

Молочкова Ольга Сергеевна – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. ЛПИМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID ID: 0000-0003-4595-7861. E-mail: petrochenko@mail.ru.

Рахматуллина Тагира Рифовна – магистрант каф. ЛПИМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: madam.tagira@yandex.ru.

УДК 621.778

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАКАЛЕННО-ОТПУЩЕННОЙ ПРУЖИННОЙ ПРОВОЛОКИ

Сметнёва Н.Ю., Харитонов В.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Проведено сравнение технических требований отечественных и зарубежных стандартов на закаленно-отпущенную пружинную проволоку, приведен обзор используемых марок сталей, технологические схемы производства проволоки и выполнен анализ существующей отечественной технологии изготовления термообработанной пружинной проволоки. С целью повышения потребительских свойств и конкурентоспособности термообработанной пружинной проволоки на рынке метизов предложены варианты совершенствования технологии производства данной продукции.

Ключевые слова: проволока пружинная, термическая обработка, волочение, закалка, отпуск, скалпирование, легирование.

Пружинная проволока – один из широко распространенных видов метизов в мировой промышленности. В зависимости от назначения она поставляется в холоднотянутом и закаленно-отпущенном состояниях. Холоднотянутая проволока применяется для изготовления пружин типа «Боннель», силовых пружин, мембран и др. Наибольший интерес представляет производство термообработанной проволоки для ответственных пружин (например, для клапанных пружин). По информации [1] потребность российского рынка в закаленно-отпущенной заготовке по EN 10270-2: 2012 диаметром до 5,00 мм для клапанных пружин составляет 100 т/мес., а в проволоке диаметром 7,00-16,00 мм для изготовления пружин подвесок – 1025 т/мес.

В настоящее время проволока для клапанных пружин автомобилей является импортной. За рубежом она производится на предприятиях «Suzuki Garphyttan» (Швеция), «Anbao» (Китай), «Kiswire» (Южная Корея), «Joh. Pengg AG» (Австрия), «Shinko Wire Co., Ltd.» (Япония) и др. Единственным в России предприятием, осваивающим выпуск проволоки по EN 10270-2: 2012, является АО «Белорецкий металлургический комбинат» [2].

Среди выпускаемой в России термообработанной пружинной проволоки наиболее распространенной является продукция по ГОСТ 1071-81 из сталей марок 68ГА и 51ХФА для различных видов пружин и по ТУ 14-4-1195-82 из стали 70 для деталей автомобиля ВАЗ. В табл. 1 приведены основные требования к термообработанной проволоке согласно различной нормативной документации.

Наиболее жесткие требования заложены в ГОСТ 1071-81, где наряду с высокой прочностью проволоки из марки 51ХФА и 70ХГФА должна быть получена высокодисперсная микроструктура (сорбит или троостосорбит отпуска не более 2 балла по ГОСТ 8233-56). К примеру, в ТУ 14-4-1463-87 и ТУ 14-173-130-2003 допускается получение микроструктуры до 4 балла по ГОСТ 8233-56, в остальной документации она не регламентирована. Обеспечение высокой прочности по EN 10270-2: 2012 возможно при формировании крупноигольчатой микроструктуры. На рис. 1 представлена зависимость временного сопротивления разрыву от микроструктуры проволоки (согласно ГОСТ 8233-56, шкала 3). Средние значения фактических свойств проволоки марок 70 и VDSiCr приведены в табл. 2 [2, 3].

В некоторых стандартах приводятся требования к величине неметаллических включений, способных привести к растрескиванию стали при переработке, снизить коррозионную стойкость, усталостную прочность, усилить анизотропию свойств.

Состояние поверхности заготовок в значительной степени влияет на их прочность и долговечность пружин. На поверхности проволоки допускается наличие окисных пленок и отдельных неглубоких волочильных рисок, остальные дефекты поверхности недопустимы. Наличие обезуглероженного слоя в материале приводит к снижению механических показателей, особенно предела усталости. Требованиями допускается наличие тонкого слоя частичного обезуглероживания, обезуглероживание до чистого феррита не допускается.

Таблица 1

Технические требования к пружинной проволоке

Нормативный документ	σ_b , Н/мм ²	ψ , %	Скручивание	Другие свойства	Изготавливаемые виды пружин
ГОСТ 1071-81 (1А класс)	1570-1720	-	≥ 10	перегибы, навивка, микроструктура	различные виды, в том числе клапанные
ТУ 14-4-1195-82	1390-1540	-	реверсивные (7-10)	навивка	детали автомобиля ВАЗ
ASTM A 229 / A 229 M-18	1600-1780	-	-	навивка, микроструктура	механические
ТУ 14-4-1463-87	1860-1960	-	≥ 3	навивка, микроструктура	для топливной аппаратуры
ТУ 14-173-130-2003	1860-1960	-	≥ 3	навивка, микроструктура	пружины сцепления и синхронизатора
ASTM A 877 / A 877M-17	1830-1970	≥ 40	-	навивка	клапанные
DIN EN 10270-2: 2012, ГОСТ Р 58126-2018	1860-1960	≥ 45	≥ 4	навивка	со статической нагрузкой (FD), сцепления (TD), клапана (VD)
JIS G 3560-1994	1810-1960	≥ 40	-	перегибы, навивка	механические
JIS G 3561-1994					клапанные

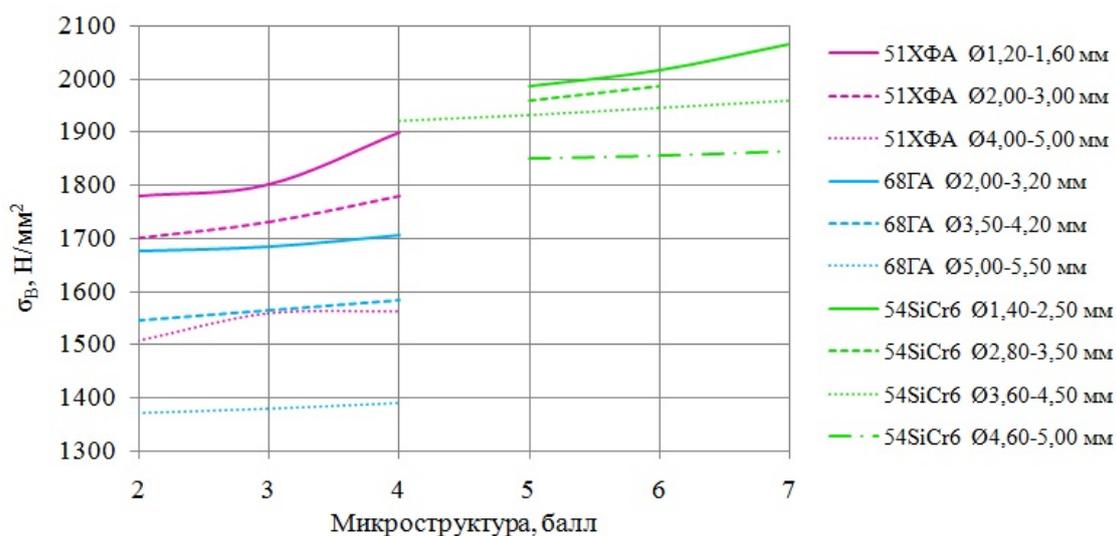


Рис. 1. График зависимости прочности проволоки от микроструктуры

Таблица 2

Свойства пружинной проволоки после закалки и отпуска

Производитель марка проволоки	Диаметр, мм	σ_b , Н/мм ²	ψ , %	Скручивание	Микроструктура по ГОСТ 8233-56, балл
Лабораторная закалка сталь 70	3,70	1406	46	-	4
Лабораторная закалка VDSiCr	3,70	1706	48	-	5
АО «БМК» (РФ) VDSiCr	4,80	1850	46	12	6
«Pengg Austria GmbH» (Австрия) VDSiCr	4,80	1870	53	7	6; 7
АО «БМК» (РФ) VDSiCr	2,80	1980	50	13	6
Производства Корея Oteva 70 (VDSiCr)	2,70	1990	58	15	6

Технологические схемы производства термообработанной пружинной проволоки представлены на рис. 2. В зависимости от назначения, марки стали, диаметра проволоки технологическая схема может иметь различное число операций волочения и промежуточной термической обработки.

Актуальными задачами производства термически обработанной пружинной проволоки на сегодняшний день являются:

- обеспечение высокой прочности;
- повышение усталостной прочности и релаксационной стойкости;
- получение равномерной микроструктуры и механических свойств по сечению и по длине проволоки после финишной термической обработки.

Для повышения качества пружинной проволоки необходимо:

- улучшить качество исходной заготовки;
- проектировать режимы волочения с максимально равномерным распределением деформации по сечению проволоки;
- рассмотреть вариант замены печной термообработки (при закалке) обработкой индукционным способом, или термомеханической обработкой.

Один из способов решения поставленных задач – совершенствование химического состава сталей. Для производства термообработанной проволоки в России чаще всего применяется сталь марки 51ХФА. За рубежом аналог данной марки (50CrV4) выведен из эксплуатации из-за низкой технологичности. Например, в EN 10270-2: 2012 близкая по химическому составу сталь (FDCrV) дополнительно легирована марганцем. Другие хромованадиевые марки легируют кремнием и марганцем (SWOSC-VHV) или кремнием, марганцем и никелем (SWOCH-VX, SWOCH-VXT). Наиболее перспективными являются системы легирования Si-Cr-V, в некоторых случаях проводят добавку Nb, Co, Mo, W, Cu, Ti, B, N₂. Данные элементы повы-

шают прочность и равномерность механических свойств проволоки, снижают склонность к обезуглероживанию, позволяют уменьшить массу пружин на 15% за счет повышения сопротивления ползучести.

Качество исходной заготовки влияет на формирование уровня потребительских свойств проволоки. Макроструктура заготовки не должна содержать грубых дефектов, а микроструктура должна быть однородной и дисперсной, обеспечивая удовлетворительную технологичность металла. Повышение чистоты стали по неметаллическим включениям достигается выплавкой стали в электропечах, электрошлаковым переплавом, интенсивным перемешиванием в ковше, раскислением алюминием в начале внепечной обработки и т.д.

Прокат бездефектной катанки из легированной стали с минимальной овальностью, удовлетворительной структурой и механическими свойствами осуществляется на высокоскоростных проволочных непрерывных станах с замедленным охлаждением под теплоизолирующими колпаками [4].

Повышение пластичности перед протяжкой передельной проволоки достигается отжигом катанки в печах с защитной атмосферой. Для проведения отжига рекомендуются колпаковые печи фирм «FIB BELGIUM SA» или «EBNER».

Подготовка металла к волочению осуществляется травлением в растворе соляной кислоты, промывкой в воде с нанесением подмазочного слоя.

Для удаления поверхностных дефектов и обезуглероженного слоя с передельной проволоки проводится обточка, шлифовка или скальпирование. Наилучший способ обработки – скальпирование, обеспечивающее гладкую поверхность в отличие от обточки, оставляющей неглубокие винтовые риски. На сегодняшний день хорошо зарекомендовали себя волочильно-скальпирующие установки фирмы «KIESELSTEIN International GmbH».

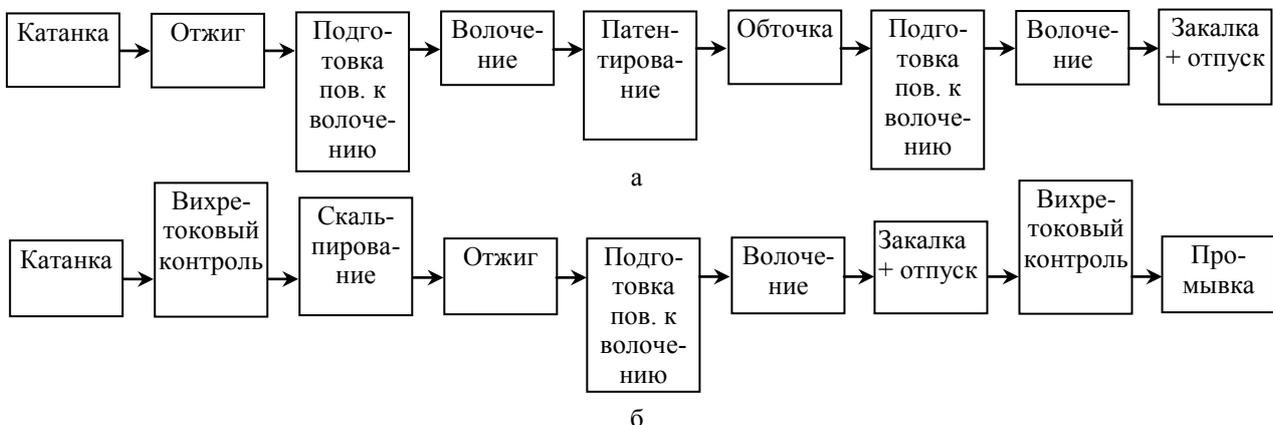


Рис. 2. Технологические схемы изготовления закаленно-отпущенной пружинной проволоки:
а – отечественная; б – зарубежная

Патентирование способствует формированию высокодисперсной микроструктуры, позволяя проводить волочение с суммарным обжатием до 80%. Для патентирования целесообразно применять высокопроизводительные многониточные патентировочные печи (совмещенные с линией подготовки поверхности к волочению) фирмы «FIB BELGIUM SA» или «WIRE KÖRNER».

Волочение проволоки значительно влияет на формирование однородной структуры металла после закалки и отпуска. Особое внимание должно уделяться проектированию маршрутов волочения проволоки: выбору степени суммарных и единичных обжатий, геометрии канала волок, деформационному разогреву проволоки, скоростным условиям волочения. Влияние этих факторов учитывается в большинстве методик проектирования режимов волочения, основанных на применении температурного, деформационного критериев оценки пластической деформации, оптимизации геометрии канала волоки и др.

Суммарное обжатие при волочении проволоки, предназначенной для закалки и отпуска, составляет 58–80% (в зависимости от марки стали и микроструктуры заготовки). Степень единичных деформаций должна способствовать наилучшей проработке сечения металла в очаге деформации. Для волочения проволоки повышенного качества необходимо применять обжатия 15–25%.

Для волочения проволоки рекомендуется использовать прямоточные волочильные станы, например фирм «Ernst KOCH», «MFL Group», «GCR Eurodraw», «KIESELSTEIN Group», «SAMP». Данные станы оснащены автоматическим регулированием уровня противонапряжения и скоростей тянущих барабанов без накопления проволоки, снабжены системой автоматического водяного и воздушного охлаждения.

Заключительной операцией при изготовлении термообработанной проволоки является закалка в масле и отпуск (в расплаве свинца или другой среде). Проведение термообработки способствует повышению прочности, предела упругости, релаксационной стойкости, прямолинейности проволоки. Характерным показателем закаленно-отпущенной проволоки является высокое отношение предела текучести к временному сопротивлению (около 90 %, у холоднотянутой пружинной проволоки – 50 %) [4].

Термическая обработка проволоки готового размера может осуществляться на многониточных проходных закально-отпускных агрегатах или в линии с индукционным нагревом. Агрегаты с применением индукционного нагрева производятся, в частности, английской фирмой «Redupe». Преимуществами линий с индукционным нагре-

вом (по сравнению с печным) являются: возможность задания режимов обработки в зависимости от марки стали и диаметра проволоки; мониторинг температуры проволоки на протяжении всего закально-отпускного агрегата; наличие в линии вихретокового дефектоскопа и капельницы с антикоррозионным маслом; быстрый запуск и остановка процесса за счет сокращения времени нагрева и остывания печи; повышение экологичности и пожарной безопасности процесса обработки проволоки.

Другим способом улучшения качества пружинной проволоки ответственного назначения является проведение высокотемпературной или низкотемпературной термомеханической обработки (ВТМО и НТМО) вместо закалки и отпуска. ВТМО проволоки проводят с единичной деформацией в 25% (значительный прирост прочности происходит при 15–25%), НТМО с единичным обжатием 7% при окончательной обработке, при промежуточной – 20–25% [11]. ВТМО и НТМО способны повысить долговечность проволоки, усталостную прочность и релаксационную стойкость пружин, ограничить удельную массу пружин. Проволока, изготовленная методом ВТМО, применяется для холодной навивки пружин, методом НТМО – для неотвеченных пружин [4, 6].

Таким образом, высокие потребительские требования к пружинам и проволоке вызывают необходимость совершенствования технологии выплавки и разливки стали, производства катанки и проволоки на отечественных предприятиях. Направлениями повышения качества пружинной проволоки являются применение новых марок сталей, повышение чистоты стали по неметаллическим включениям, а также совершенствование режимов холодной пластической деформации металла. Повышению производительности и качества проведения технологических операций способствует применение современного оборудования.

Список литературы

1. Дуденков С.В., Пономарева О.С. Маркетинговое исследование рынка потребителей закаленно-отпущенной заготовки в рамках импортозамещения // Современный менеджмент: теория и практика: материалы V Всероссийской научно-практической конференции / под общей ред. Н.В. Кузнецовой. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. С. 67–71.
2. Пыхов Л.Э., Галлямов Э.Ф., Сметнёва Н.Ю. Освоение производства термически обработанной пружинной проволоки из стали 54SiCr6 в условиях АО «БМК» // Сталь. 2018. № 6. С. 39–41.
3. Направления повышения конкурентоспособности пружинной закаленно-отпущенной проволоки /

- В.А. Харитонов, Н.Ю. Сметнева, Н.В. Копцева и др. // Черные металлы. 2020. № 9. С. 49-55.
4. Сметнёва Н.Ю., Харитонов В.А. Состояние и перспективы развития производства пружинной проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. А.Б. Моллера. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. Вып. 24. С. 65–74.
5. Комарова Т.В. Повышение уровня и стабильности механических свойств термически обрабатываемой пружинной проволоки из углеродистых и низколегированных сталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / Т. В. Комарова. Горьковский орден Трудового Красного Знамени политехнический институт им. А.А. Жданова, 1980. 26 с.
6. Высокотемпературная термомеханическая обработка пружинной проволоки в промышленных условиях / О.И. Шаврин, М.М. Исмагилов, В.Н. Коньшев и др. // Сталь. 1978. № 8. С. 743-745.

Сведения об авторах

Сметнёва Наталия Юрьевна – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID 0000-0003-4073-0377. E-mail: natalibox92@mail.ru

Харитонов Вениамин Александрович – канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID 0000-0003-3487-7110. E-mail: hva-46@yandex.ru

УДК 669.162.212

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ КАМПАНИИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ В УСЛОВИЯХ ДОМЕННОГО ЦЕХА ПАО «ММК»Макарова И.В.¹, Ерин А.А.²¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск²Магнитогорский металлургический комбинат, Магнитогорск

Аннотация. Эксплуатационная надежность и продолжительность кампании доменной печи в первую очередь определяются долговечностью службы футеровки лещади. Футеровку лещади, в отличие от других зон футеровки доменной печи, которые можно реконструировать в процессе промежуточных ремонтов, невозможно поменять, служба футеровки лещади рассчитана на полную кампанию печи. Кампании доменных печей со сроком службы лещади 10-15 лет стали нормой. Увеличение продолжительности кампании доменных печей до 20 лет ограничено долговечностью огнеупорной футеровки лещади. Повышение срока службы лещади – главный тренд развития доменного производства в современных условиях.

Ключевые слова: доменная печь, лещадь, кампания, огнеупорные материалы, керамический стакан, углеродистые блоки.

Самым слабым местом огнеупорной кладки в нижней части доменной печи является стык лещади и стены. Здесь формируется разгар по типу «слоновья нога». Увеличение кампании огнеупорной кладки лещади – главный тренд развития доменного производства в современных условиях.

Интенсификация доменного процесса и совершенствование режимов выпусков чугуна и шлака привели к увеличению тепломассообмена в огнеупорной кладке лещади и горна, что при увеличении межремонтного периода (или его соблюдении) должно компенсироваться качеством и свойствами огнеупорных материалов и леточных масс, уровнем технологической дисциплины обслуживания и контроля состояния лещади.

Основными способами увеличения срока эксплуатации лещади являются: совершенствование конструкции и способа выкладки лещади, применение огнеупорных материалов с повышенными теплофизическими и механическими свойствами и их дифференцированное применение по высоте и сечению футеровки нижней части печи.

Причинами износа футеровки лещади доменной печи являются: высокие термические нагрузки и колебания температур, термический удар в начале кампании печи, термомеханические напряжения, химическое воздействие щелочей и шлаков, воздействие цинка и цинкита, размывание и расклинивание жидкого чугуна, вытеснение углерода из углеродных огнеупоров жидким чугуном.

Условия эксплуатации, наиболее важные для стойкости лещади, также влияют на долговечность огнеупорной футеровки низа печи, например:

- химический состав чугуна и шлака;
- качество железорудной части шихты и твердого топлива;
- технология выпуска чугуна и шлака;
- диаметр горна и высота мертвого слоя лещади;
- частота и продолжительность простоев печи;
- попадание воды внутрь доменной печи через неисправные фурмы и холодильники.

Для металлоприемника выбор огнеупоров в первую очередь связан с необходимостью отводить тепло от центральных областей к дну и периферии лещади.

Для этого в нижней части огнеупорной футеровки лещади используются материалы с высокой теплопроводностью.

Охлаждающий слой графита предотвращает проникновение жидкого чугуна в футеровку уже в ее керамическом слое. Жидкий чугун контактирует с керамикой, которая хорошо сопротивляется абразивному воздействию движущегося жидких продуктов плавки [1].

В стенках горна и лещади на поверхности контакта с жидким металлом необходимо использовать материалы с высокоплотной текстурой. Микропористые материалы обеспечивают максимальную стойкость к физическому проникновению расплавленного чугуна.

ПАО «ММК» – один из лидеров черной металлургии. На ПАО «ММК» постоянно проводятся модернизации основных цехов и внедрение новых технологий и совершенствование имеющихся. В доменном цехе проводится модернизация основного и вспомогательного оборудования, литейных дворов (плоские литейные дворы), загрузочных устройств, воздухонагревателей. Особое внимание уделяется модернизации собственно доменных печей (совершенствование размеров и очертания профиля с учетом шихтовых и дутьевых условий), установке медных холодильников и, конечно, огнеупорной футеровки доменных печей. С 2004 года при ремонтах первого разряда на всех доменных печах ПАО «ММК» вместо устаревшей футеровки лещади и горна устанавливаются более современные износостойкие огнеупорные изделия, в том числе устанавливается керамический стакан и увеличивается высота зоны спокойствия [2].

В современных условиях доменного производства в мировой практике распространился опыт применения супермикропористых углеродных блоков в наиболее напряженных местах футеровки лещади, которые обладают высоким коэффициентом теплопроводности, хорошей стойкостью к размыванию и раскливанию чугуном, хорошей щелочной стойкостью и стойкостью к щелочам и низкой газопроницаемостью. Поэтому на доменных печах ПАО «ММК» рекомендуется использовать супермикропористые блоки на стыке дна и стен лещади, что позволит уменьшить толщину керамического слоя до 1000 мм и увеличить срок службы футеровки в этой особо напряженной зоне.

Керамический стакан играет роль искусственного гарнисажа с заданными физико-химическими свойствами, предназначенного для

защиты углеродистой кладки от прямого воздействия жидких продуктов плавки [3]. В то же время внешняя облицовка из микропористых углеродных блоков с высокой теплопроводностью обеспечивает эффективное охлаждение керамического стакана. В процессе эксплуатации они защищают друг друга и составляют единое целое.

Внутренняя керамическая кладка с низкой теплопроводностью позволяет снизить теплотери на 25-30% и сохранить тепловой режим кладки. Это позволяет снизить расход кокса и повысить стабильность доменного процесса, что особенно важно при незапланированных остановках доменной печи.

Из опыта эксплуатации доменных печей в Западной Европе и Китае с использованием супермикропористых углеродистых огнеупоров и керамического стакана в лещади выявлено, что расход кокса снизился на 6-8 кг /т чугуна при сохранении физической температуры чугуна; при этом, во время остановки доменной печи более чем на 8 часов температура шлака снизилась на 46 °С (тогда как при обычной углеродистой кладке - на 69 °С), время выхода на рабочие параметры после длительного простоя сократилось на 30-50%.

Список литературы

1. Можаренко Н.М., Канаев В.В., Панчоха Г.В. Влияние технологии плавки на футеровку металлоприемника доменных печей // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2003. №5. С. 5–8.
2. Влияние производительности доменной печи на продолжительность ее кампании // *Новости черной металлургии за рубежом*. 2005. №1. С. 21–24.
3. Лазуткин А.Е. Повышение стойкости доменных печей // *Бюл. «Черная металлургия»*. 2003. №2. С. 20–22.

Сведения об авторах

Макарова Ирина Владимировна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: m.irina1976@mail.ru.

Ерин Алексей Александрович – мастер доменного цеха, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск.

УДК 669.13.018

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА (ВТОР) НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ЛЕГИРОВАННОГО ЧУГУНА

Потапов М.Г., Юмабаев А.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. При производстве жидких сплавов из стали и чугуна все больше применяются металлургические отходы. Увеличение объема возврата влияет на чистоту шихтовых материалов, на загрязненность неметаллическими включениями и нежелательными элементами, которая приводит к резкому ухудшению структуры и свойств литых отливок. В связи с данными обстоятельствами был рассмотрен вопрос по влиянию высокотемпературной обработки расплава на свойства износостойкого ванадиевого чугуна.

В работе изучены влияние режимов и время выдержки ВТОР на свойства износостойкого чугуна, таких как износостойкость, твердость и прочность. Обнаружено, что с увеличением времени выдержки до определенного момента происходит изменение всех свойств. Осуществлены механические испытания опытных образцов. На основании полученных результатов микроструктуры и свойств опытного чугуна выявлены оптимальные режимы высокотемпературной обработки расплава.

Ключевые слова: комплексно-легированный износостойкий чугун, температурно-временная обработка, микроструктура, твердость, износостойкость, прочность, время выдержки.

Введение

На стойкость и долговечность деталей существенное влияние оказывают условия взаимодействия с рабочей средой. При абразивном изнашивании по современным представлениям о механизме внешнего трения твердых тел базируются на двух основных процессах эволюции дислокационной структуры и кинетике массопереноса, которые определяют степень упрочнения, разупрочнения и поверхностного разрушения.

Существует две формы проявления абразивных процессов, отличающиеся характером взаимодействия частиц с поверхностью металла: пластическое деформирование поверхностных объемов, их окисление и последующее разрушение образующихся пленок – разновидность окислительного изнашивания, и с преобладанием механического разрушения металла (внедрение абразивных частиц и разрушение поверхностных объемов металла со снятием микростружки или без отделения металла). В зависимости от структуры и физико-механических свойств металлов разрушение наступает в результате развития деформационных процессов или хрупкого выкрашивания.

Комплексно-легированные чугуны широко используются для изготовления литых деталей, экс-

плуатирующих в условиях интенсивного абразивного и гидроабразивного изнашивания при различных средах. Область применения данных чугунов охватывает горнорудную и нефтеперерабатывающую промышленность, энергетику, металлургию, строительно-дорожную и автотракторную технику [1].

Новые проведенные исследования представляют, что металлические расплавы, в том числе и Fe–C-сплавы, являются сложными динамическими системами и под влиянием различных внешних воздействий могут находиться в различных структурных состояниях.

Многочисленными исследованиями выявлен факт влияния температуры перегрева жидкого металла на особенности процессов кристаллизации и формирования структуры слитков. Исследованиям свойств и строению металлических расплавов посвящены работы таких ученых, как Б.А. Баума, А.М. Самарина, Г.В. Тягунова, В.С. Цепелева, В.Н. Ларионова. Однако по имеющимся данным по данной операции имеется недостаточно сведений сплавов при кристаллизации и первичной литой структуры износостойких легированных чугунов.

Технологический режим выплавки сплавов, основанный на исследовании их физико-химических свойств в жидком состоянии и обеспечивающий формирование оптимальной и равновесной в данных условиях структуры расплава, получил в промышленности название высокотем-

пературная обработка расплава (ВТОР). Достаточно эффективным и при этом недорогим способом, позволяющим получать высокий комплекс механических и эксплуатационных свойств литой структуры из комплексно-легированных чугунов, является применение ВТОР. Тепловое воздействие в течение определенного времени на расплав позволяет регулировать наследственность шихтовых материалов, нивелировать действие нежелательных примесей и получать сплавы с необходимой структурой, химическим составом и регламентированным содержанием газовых и неметаллических включений, получать отливки с меньшим размером зерна и с повышенной пластичностью, прочностью и износостойкостью металла, т.е. в данных условиях достаточно однородным. Сущность способа заключается в том, что расплав необходимо нагреть до критической температуры t_k . При достижении данной температуры энергия теплового движения частиц расплава становится соизмеримой с энергией разрыва наиболее прочных межатомных взаимодействий в неравновесных атомных ассоциациях, другими словами, с энергией активации процессов миграции наиболее сильно связанных частиц. Требуется также установить опытным путем необходимую продолжительность выдержки расплава при критической температуре. Достаточно, как правило, 10–15 мин [2].

Применяемая методика для исследований

Экспериментальные сплавы для изучения свойств и структуры опытных чугунов выплавляли в индукционной печи «ИСТ-006» с основной футеровкой на кафедре ЛП и М ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

Для получения опытных чугунов в качестве шихтовых материалов применяли:

- феррованадий марки ФВд, ГОСТ 27130-86;
- ферротитан марки ФТи 32, ГОСТ 4761-80;
- ферробор марки ФБ 20, ГОСТ 1415-78;
- ферромарганец марки ФМн 70, ГОСТ 4755-80;
- медь марки МЗ, ГОСТ 859-78;
- чугун марки П1, ГОСТ 4832-80;
- стальной лом 1А, ГОСТ 2787-86.

Раскисление сплава добивалось за счет применения алюминия марки А 95 (ГОСТ 11070-74).

После выплавки образцы заливали в литейные формы с различной теплоаккумулирующей способностью – в песчано-глинистую форму (сухую), стальной и медный кокили. Это обусловило различные условия охлаждения расплавов. Определение концентрации химических элементов в литых пробах проводили в лаборатории МГТУ им. Г.И. Носова.

Испытание на износостойкость ($K_{и}$) исследуемых образцов проводили по методике, регламен-

тированной ГОСТ 23.208–79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы». Испытания проводились на образцах с размерами 35×35×10 мм. В качестве абразива использовали электрокорунд зернистостью №16П по ГОСТ 3647–80. Мерой износа служило отношение потери веса образца к потере веса эталона, в качестве которого использовался сталь 45Л. Твердость образцов по Роквеллу (HRC) определяли на приборе Ernst AT 130D в соответствии с ГОСТ 9012–59. Количественный анализ проводили на анализаторе изображений Thixomet Standart при увеличении от 100 до 1000 крат на шлифах до и после травления.

Жидкотекучесть λ определялась при помощи пробы спиральным каналом по ГОСТ 16438–84.

Линейную усадку $\varepsilon_{л}$ определяли как разность размеров формы (модели отливки) и отливки после ее полного охлаждения.

Изучение микроструктуры экспериментальных чугунов проводили на оптических микроскопах МИМ-6, «Неофот-21», «МЕТАМ-ЛВ 31», «ЭПИКВАНТ» при увеличении от 100 до 1000 крат.

Количественные металлографические исследования проводились при применении промышленной системы анализа «SIAMS-600», при этом просмотру подвергались не менее 3-х полей зрения, в результате чего давалась общая количественная характеристика включений микроструктуры сплавов.

Для измерения микротвердости применяли прибор ПМТ-3М при нагрузке на индентор 50 Н.

Химический состав опытного чугуна, масс. %: 2,8–3,0 С; 6,7–7,4 V; 0,02–0,03 В; 1,0–1,2 Cu; 0,3–0,4 Ti; 0,4–0,6 Si; 0,4–0,6 Mn; 0,01–0,05 Ca.

Результаты экспериментов

Экспериментальный чугун применяется для изготовления корпусов и лопастей центробежных песковых и грунтовых насосов, предназначенных для переработки больших объемов рудных гидрозвесей (пульп) в гидроабразивных средах.

Из строя в первую очередь выводятся те элементы, которые наиболее интенсивно взаимодействуют с абразивными частицами, рабочие колеса, отводы и уплотняющие элементы, что приводит к внеплановым ремонтным расходам и снижению производительности в связи с простоем оборудования.

Для решения данной проблемы предлагается применить резерв уменьшения структурной и химической неоднородности литого металла. Увеличение качества литых отливок электроплавильного производства является совершенствованием технологии процесса выплавки и получение равновесного, максимально однородного расплава перед кристаллизацией.

Для выявления воздействия режимов ВТОР на свойства отливок были проведены исследования по влиянию температуры выдержки и времени релаксации расплава на свойства чугуна при температурах 1520–1550°C в течение 5, 10 и 15 мин при указанных интервалах температур. Расплав заливали при температуре $t_{\text{залив}} = 1400^\circ\text{C}$.

Анализ полученных данных показывает, что твердость опытных образцов изменяется в интервале: износостойкость 8,18–9,55 ед., твердость 42–63 HRC, прочность 400–680 МПа, жидкотекучесть $\lambda = 750$ мм, линейная усадка 1,5–1,7%. С увеличением времени обработки расплава наблюдается снижение всех исследуемых свойств на незначительном уровне.

Образцы, заливаемые в литейные формы с различной теплоаккумулирующей способностью – в песчано-глинистую форму (сухую), стальной и медный кокили, имеют различия по структуре и свойствам. Экспериментальные образцы, полученные с меньшей скоростью теплопередачи в песчано-глинистые формы (ПГФ), показали самые

низкие показатели, чем образцы, выполненные в металлических формах (табл. 1).

Микроструктура ванадиевого износостойкого чугуна после выдержки при температуре 1520 °C представляет собой аустенитно-ванадиево-карбидную эвтектику, с увеличением скорости охлаждения зависимости от типа формы, количество ледебурита в микроструктуре снижается.

Аустенитно-ванадиевая эвтектика имеет в микроструктуре износостойкого чугуна своеобразное строение. Причем в зонах каждой колонии эвтектики карбид VC создает дендритнообразный каркас, который располагает внутри себя более мягкую, вязкую и пластичную матрицу, состоящую, в свою очередь, из аустенита и продуктов его распада. Аустенит создает в микроструктуре непрерывную матричную фазу, а карбиды в виде пластин или игл растут веерообразно, от центра зерна армируя матрицу колонии. Такая структура придает довольно высокие механические свойства и износостойкость (рис. 1).

Таблица 1

Свойства исследуемых ванадиевых чугунов с применением ТВО

Номер образца	Время проведения операции ВТОР, мин	Температура нагрева, °C	Вид теплоаккумулирующей способности формы от типа литейной формы (ПГФ сухая / стальной кокиль / медный кокиль)								
			Свойства образцов								
			K _и , ед.			HRC, ед.			σ _в , МПа		
1.1	5	1520	8,50	8,80	9,50	55	58	62	600	620	680
2.1	10		8,44	8,45	9,43	52	56	63	540	580	670
3.1	15		8,51	8,37	9,47	51	54	60	545	570	670
1.2	5	1535	8,41	8,31	9,38	45	47	54	425	470	520
2.2	10		8,63	8,59	9,55	43	42	49	410	430	500
3.2	15		8,58	8,51	9,48	48	49	53	415	400	530
1.3	5	1550	8,36	8,4	9,40	47	48	52	465	455	550
2.3	10		8,23	8,27	9,26	45	44	50	400	410	520
3.3	15		8,18	8,20	9,18	46	45	49	420	430	530

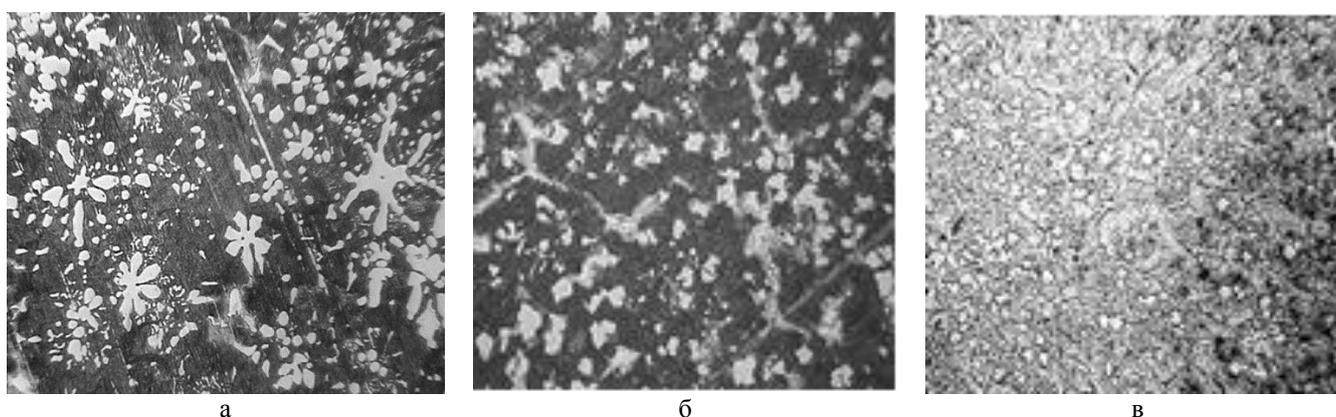


Рис. 1. Микроструктура литых образцов износостойкого ванадиевого чугуна, расплав, который выдерживали в ковше при температуре 1520°C в течение 5 мин и заливкой, с последующим охлаждением в ПГФ (сухая) (а) и металлической, стальной (б), медной (в) формах

Увеличение температуры выдержки расплава приводит к изменению формы и размеров карбидов, так же при этом изменяется металлическая матрица. Карбиды ванадия (VC) становятся менее разветвленными, размеры их уменьшаются, увеличивается дисперсность металлической матрицы, структура сплава является инвертированной (рис. 2).

С увеличением температуры выдержки в структуре наблюдается измельчение кластерной структуры сплава, в зависимости от которой доля карбидоподобных микрогруппировок уменьшается. Повышение температуры до 1550°C приводит к обратимому интенсивному распаду данных микрогруппировок, при котором разрушаются самые слабые связи с Fe–C. Также увеличение температуры способствует ускорению подвижности атомов ванадия, увеличивая диффузию атомов, которые, в свою очередь, входят в комплекс меньшего размера. Такое превращение влечет за собой увлечение концентрации углерода в металлической матрице расплава и в первичных дендритах твердого чугуна. Этим можно объяснить

снижение карбидной доли по объему (VC) и уменьшение их размеров (рис. 2).

Заключения

1. В данной работе рассмотрено влияние высокотемпературной обработки на структуру и свойства отливок из износостойкого ванадиевого чугуна. Рекомендованы оптимальные режимы обработки для улучшения свойств из данного чугуна. Выявлено влияние изменения структуры на механические свойства литых отливок при применяемых воздействиях.

2. По влиянию ВТОР выявлено, что при применении данной операции вблизи критической температуры t_k изменяются размерность включений и однородность распределений, которые обеспечивает изменения свойств.

3. Применение ВТОР позволяет в значительной степени улучшить физико-химические свойства расплава чугуна, а также механические и прочностные свойства отливок из нее. Способствует снижению неоднородности, упорядочиванию структуры в отливках.

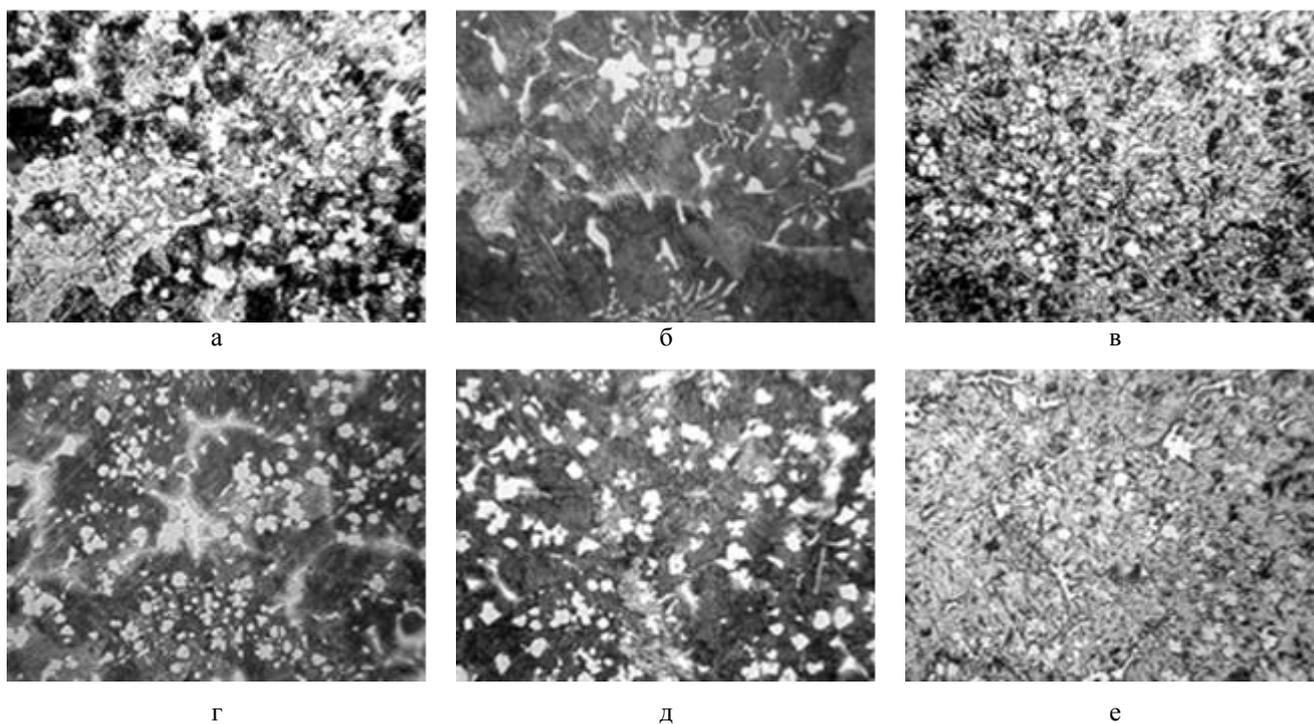


Рис. 2. Микроструктура литых образцов износостойкого ванадиевого чугуна, заливаемых в ПГФ (сухая) (а) после выдержки их расплава до температуры 1535°C в течение 5 мин, в стальной (б) и медный (в) кокили, в ПГФ (сухая) (г) – при 1550°C до 10 мин и стальной (д) и медный (е) кокили

Список литературы

1. Гарост А.И. Механизм структурообразования в экономнолегированных износостойких чугунах // Литье и металлургия. 2012. № 3 (67). С.101–113.
2. Савоста А.А. Совершенствование технологии производства литых заготовок на основе высокотемпературной обработки расплава // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. Технические науки. С. 276.
3. Колокольцев В.М., Потапов М.Г. Михайлов А.В. Влияние скорости охлаждения на структуру, основные механические и специальные свойства комплексно-легированного марганцевого чугуна // Сталь. 2019. №4. С. 48-54.
4. Исследование микроструктуры нового чугуна для рабочих деталей смесителей вихревого типа / А.А. Юмабаев, Б.Б. Зарицкий, М.Г. Потапов, Д.Е. Белкин // Технологии металлургии, машиностроения и материалобработки. 2020. № 19. С. 106-111.
5. Взаимосвязь химического состава, механических свойств и износостойкости среднехромистых чугунов для сортопрокатных валков / В.М. Колокольцев, А.М. Столяров, П.А. Молочков [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 3(27). С. 15-18.
6. Экспериментальное исследование влияния высокотемпературной обработки расплава тиосульфата натрия на формирование его макроструктуры / М.Г. Потапов, С.В. Березова, И.В. Иванова, П.В. Кошечев // Литейные процессы. 2012. № 11. С. 80-85.
7. Макарова И.В., Потапова М.В., Потапов М.Г. Производство чугуна. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 130 с.
8. Разработка нового состава специального чугуна для отливок, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа / В.М. Колокольцев, М.Г. Потапов, А.В. Михайлов [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. № 12(1416). С. 70-73.
9. Разработка состава и исследование структуры комплексно-легированного хромистого чугуна для деталей специального назначения / В.М. Колокольцев, Е.В. Петроченко, М.Г. Потапов [и др.] // Современные достижения университетских научных школ : сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 27–28 декабря 2016 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. С. 7-10.
10. Влияние скорости охлаждения на структуру, основные механические и специальные свойства комплексно-легированного марганцевого чугуна / В.М. Колокольцев, М.Г. Потапов, А.В. Михайлов, Б.Б. Зарицкий // Сталь. 2019. № 4. С. 48-54.

Сведения об авторах

Потапов Михаил Геннадьевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Юмабаев Азамат Аслямович – аспирант ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.771

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ

Румянцев М.И., Завалищин А.Н., Колыбанов А.Н.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье представлены результаты разработки математических моделей прогнозирования параметров холодной прокатки для применения в цифровых двойниках непрерывного и реверсивного станов.

Ключевые слова: цифровой двойник, холодная несимметричная прокатка, деформация валков, коэффициент податливости полосы, плоскостность полосы, устойчивость прокатки.

Введение

Для индустрии 4.0 характерно широкое применение цифровых двойников, которые представляют собой цифровую динамическую модель, соответствующую физическому объекту в реальном мире. Путем имитации цифровой двойник должен обеспечивать адекватный прогноз результатов функционирования объекта (в том числе, производительности и характеристик качества продукции). В ПАО «ММК» цифровые двойники холодной прокатки реализованы фирмой SMS, например на двухклетевом реверсивном стане 1700 и травильно-прокатном агрегате 2000. В то же время на четырехклетевом холодном стане 2500 цифровой двойник отсутствует, и его разработка является актуальной задачей.

Цифровой двойник представляет собой систему взаимосвязанных математических моделей. Применительно к стану холодной прокатки указанные модели должны, в частности, прогнозировать параметры взаимодействия валков и металла при деформации полосы, деформацию валков, трансформацию плоскостности полосы, охлаждение валков, охлаждение полосы в межклетевом промежутке, работу системы автоматического управления. В нашем докладе изложены результаты разработки некоторых из указанных моделей.

Моделирование взаимодействия валков и металла при деформации полосы

Процесс тонколистовой прокатки не является симметричным [1]. Чтобы учесть особенности реального процесса применили математическую модель [2], разработанную Скороходовым В.Н. Решение выполняется конечно-разностным методом. В сравнении с расчетом по аналитическим формулам данный подход позволяет существенно

уменьшить число упрощающих допущений, а в сравнении с методом конечных элементов обеспечивает приемлемое время расчетов при работе в режиме «on-line». Особенностью разработанной нами модели является определение значения предельного угла наклона поперечного сечения полосы на выходе из очага деформации $\beta_{пр}$ с помощью множественной аппроксимации номограммы Скороходова В.Н., построенной им по результатам экспериментальных исследований. С доверительной вероятностью 95% указанная аппроксимация имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} \beta_{пр} = & 156,49 + 153,75h_0 - 23,89h_0^2 - 159,6h_1 - \\ & - 33,42h_1^2 - 0,35D + 0,0002D^2 - 2012 \cdot \mu + \\ & + 5197,2\mu^2 + 0,3982 \cdot \sigma_{T0} - 2 \cdot 10^{-5} \sigma_{T0}^2 - \\ & - 0,41 \cdot \sigma_{T1} + 10^{-5} \sigma_{T1}^2 - 0,101 \cdot q_0 + 3 \cdot 10^{-5} q_0^2 + \\ & + 0,0466 \cdot q_1 - 8 \cdot 10^{-5} q_1^2 - 0,906 \cdot \varepsilon - 5 \cdot 10^{-4} \varepsilon^2 + \\ & + 55,739h_0h_1 - 0,178h_0D + 0,2007h_1D - \\ & - 2083h_0\mu + 2376,2h_1\mu + 2,4159D\mu - 0,07h_0\sigma_{T0} + \\ & + 0,0816h_1\sigma_{T0} - 4 \cdot 10^{-4}D\sigma_{T0} - 4,118 \cdot \mu\sigma_{T0} + \\ & + 0,0874h_0\sigma_{T1} - 0,107h_1\sigma_{T1} + 0,0004D\sigma_{T1} + \\ & + 3,6866 \cdot \mu\sigma_{T1} + 3 \cdot 10^{-5} \sigma_{T0} \cdot \sigma_{T1} + 0,0134h_0q_0 - \\ & - 0,028h_1q_0 + 10^{-4}Dq_0 + 0,4061 \cdot \mu q_0 - \\ & - 10^{-4} \sigma_{T0} \cdot q_0 + 10^{-3} \sigma_{T1} \cdot q_0 - 0,016h_0q_1 + 0,0153h_1q_1 + \\ & + 10^{-5}Dq_1 - 0,445 \cdot \mu q_1 - 9 \cdot 10^{-5} \sigma_{T0} \cdot q_1 + \\ & + 7 \cdot 10^{-5} \sigma_{T1} \cdot q_1 + 4 \cdot 10^{-5} q_0 \cdot q_1 - 0,218h_0\varepsilon + \\ & + 7 \cdot 10^{-4}D\varepsilon + 21,912 \cdot \mu\varepsilon - 4 \cdot 10^{-5} \sigma_{T0}\varepsilon - 2 \cdot 10^{-4} q_0\varepsilon, \end{aligned} \quad (1)$$

где h_0 и h_1 – начальная и конечная толщина полосы; D – диаметр ведомого валка; μ – коэффициента трения; ε – относительное обжатие; σ_{T_0} и σ_{T_1} – предел текучести металла на входе и на выходе из очага деформации; q_0 и q_1 – заднее и переднее удельное натяжение.

Полученная математическая модель имеет действенность 93,44% при допустимой погрешности 5%, что можно считать хорошим результатом [4].

Моделирование деформации валков

В 1970-2009 годах на кафедре ОМД МГТУ им. Г.И. Носова Салгаником В.М., Мельцером В.В., Полецковым П.П. и Омельченко Б.Я. была создана и развивалась модель деформации валкового узла кварто при симметричном нагружении [5, 6 и др.]. Одним из параметров указанной математической модели является коэффициент податливости полосы $K_{\Delta h}$. В наших исследованиях предлагаем применить статистическую зависимость от условий прокатки, построенную по результатам вычислительного эксперимента [7]. В ходе анализа было обнаружено, что для повышения точности аппроксимации необходимо рассматривать два случая: $2,52 \text{ мм} \geq h_0 > 1,47 \text{ мм}$ и $1,46 \text{ мм} \geq h_0 > 0,6 \text{ мм}$. Для диапазона $2,52 \text{ мм} \geq h_0 > 1,47 \text{ мм}$ получили аппроксимацию:

$$K_{\Delta h} = -2 \cdot 10^5 - 924,2 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{h_0}\right)^2 + 21226 \cdot \frac{\varepsilon}{h_1} - 323,7 \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} + 0,075 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\mu}\right)^2 + 3 \cdot 10^5 \cdot \frac{a}{h_1} + 219,3 \cdot D + 8 \cdot 10^5 \cdot \frac{\Delta h \cdot a}{h_1} - 45524 \cdot \frac{\varepsilon \cdot a}{h_1} - 73,06 \cdot \frac{D \cdot a}{\Delta h \cdot h_1} + 35235 \cdot \frac{\varepsilon \cdot a}{h_0 \cdot h_1} + 171 \cdot \frac{\varepsilon \cdot a}{\mu \cdot h_1} \quad (2)$$

Для случая $1,46 \text{ мм} \geq h_0 > 0,6 \text{ мм}$ получили аппроксимацию:

$$K_{\Delta h} = 586016 - 6 \cdot 10^8 \cdot \frac{h_1}{D} - 0,001 \cdot \left(\frac{\sigma_{T_0}}{\mu}\right)^2 + 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{\mu}{a} - 80626 \cdot D \cdot \mu + 4 \cdot 10^6 \cdot h_1 - 2 \cdot 10^6 \cdot h_0 + 2 \cdot 10^{10} \cdot \frac{\mu \cdot h_0}{D} + 0,1027 \cdot \frac{D \cdot \sigma_{T_0}}{\mu} - 21935 \cdot \frac{h_1 \cdot \sigma_{T_1}}{D \cdot \mu} - 81071 \cdot \frac{D \cdot \mu}{a} - 5 \cdot 10^{10} \cdot \frac{h_1 \cdot \mu}{D \cdot a} + 3 \cdot 10^{10} \cdot \frac{h_0 \cdot \mu}{D \cdot a} + 814,67 \cdot \frac{\sigma_{T_1}}{a}, \quad (3)$$

где h_1 – конечная толщина полосы, мм; Δh – абсолютное обжатие полосы, мм; ε – относительное обжатие полосы, %; a – коэффициент рассогласования скоростей валков; D – диаметр рабочего валка, мм; μ – коэффициента трения; σ_{T_0} и σ_{T_1} – предел текучести металла на входе и на выходе из очага деформации, МПа.

На рис. 1, 2 представлены результаты исследования выражений (2), (3).

Увеличение рассогласования валков способствует возрастанию податливости и при изменениях диаметра рабочих валков. Собственно, увеличение диаметра валков снижает податливость прокатываемого металла. Но если при прокатке без рассогласования скоростей валков достигает значений 20000-30000 кН/мм (см. рис. 1), то при прокатке с рассогласованием скоростей 1,3 (см. рис. 2) значения коэффициента податливости не превышают 7000-20000 кН/мм.

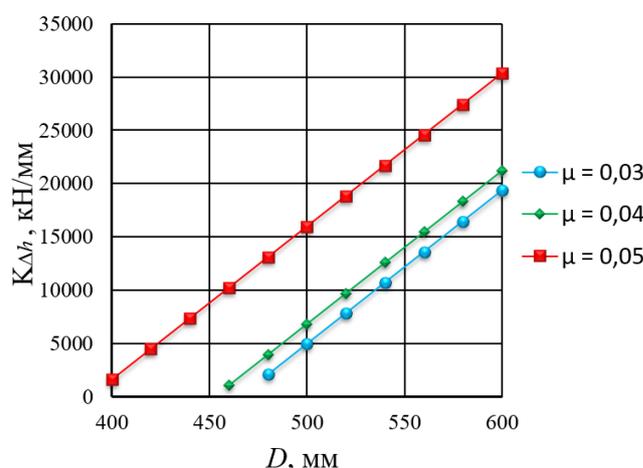


Рис. 1. Влияние диаметра валков и коэффициента трения на коэффициент податливости полосы без рассогласования скоростей валков

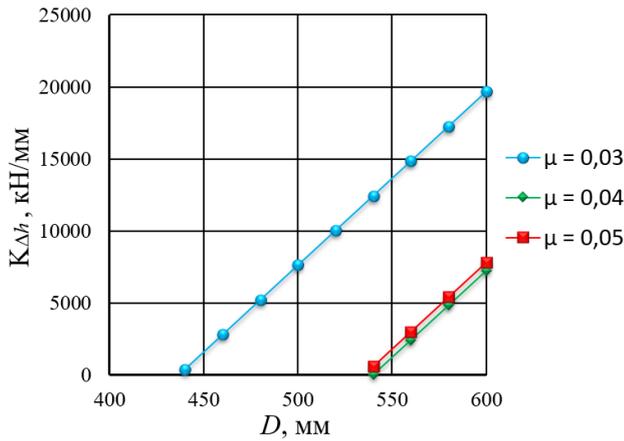


Рис. 2. Влияние диаметра валков и коэффициента трения на коэффициент податливости полосы с рассогласованием $\alpha=1,3$

Прогнозирование плоскостности полосы

Фактором формирования профиля и плоскостности полосы при листовой прокатке является связь напряженных состояний концов полосы и очага деформации, что особенно существенно для холодной прокатки. Также необходимо иметь в виду два вида неустойчивости процесса прокатки в связи с неравномерностью распределения продольных напряжений по ширине полосы: 1) потеря полосой плоской формы; 2) обрыв полосы. В работе [8] для каждого из отмеченных случаев потери устойчивости процесса прокатки были найдены критические значения неравномерности продольных напряжений, но предлагается весьма сложный алгоритм их определения (в частности, для волнистости и коробоватости необходимо решать уравнение четвертой степени). С учетом последующих исследований В.Л. Кузнецова [9] нами разработан алгоритм определения границ устойчивости процесса прокатки (рис. 3), который позволяет облегчить поиск критических значений неравномерности.

Исходными данными являются толщина полосы до h_0 и после h_1 очага деформации, ее ширина b и модуль Юнга E , среднее удельное натяжение q_1 и предел текучести σ_{T_1} переднего конца полосы, поперечная разнотолщинность до δh_0 и после δh_1 прохода. Расчет начинается с определения средней по ширине полосы вытяжки $\bar{\lambda}$ и её неравномерности $\delta \lambda$. Затем вычисляется критическое с точки зрения плоскостности значение продольного напряжения $\sigma_{кр}$. При этом используются его зависимости от соотношения между толщиной переднего конца полосы и её шириной b/h_1 , а также проверяется фактическое

значение этого параметра на принадлежность области допустимых значений (ОДЗ). В случае нарушения ОДЗ выдается соответствующее сообщение, и расчет границ устойчивости прокатки прекращается.

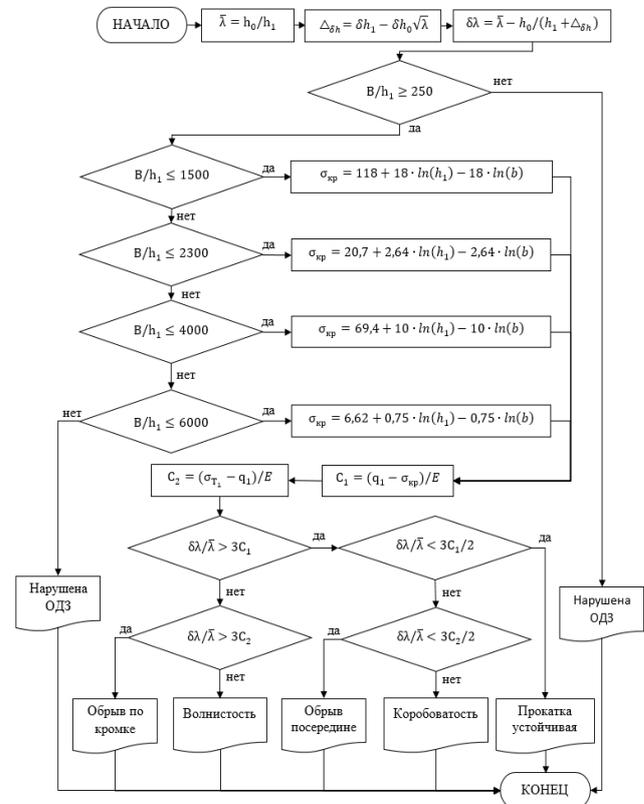


Рис. 3. Алгоритм определения границ устойчивости процесса холодной прокатки

Заключение

С целью создания цифрового двойника стана холодной прокатки воспроизведена конечно-разностная математическая модель несимметричной тонколистовой прокатки Скороходова В.Н., уточненная множественной нелинейной аппроксимацией для определения угла наклона поперечного сечения полосы. При моделировании деформации валков клетки кварто используется модель, разработанная Мельцером В.В., Салгаником В.М. и др., уточненная множественной аппроксимацией зависимости коэффициента податливости полосы от условий несимметричной холодной прокатки. Для моделирования плоскостности и оценки устойчивости прокатки разработан алгоритм, позволяющий прогнозировать обрыв по кромке или по середине полосы, а также ее волнистость и коробоватость.

В дальнейшем разработка цифрового двойника предусматривает дополнение его моделями охлаждения валков и охлаждения полосы в межклетевом промежутке.

Список литературы

1. Процесс прокатки / М.А. Зайков, В.П. Полухин, А.М. Зайков, Л.Н. Смирнов. М.: МИСиС, 2004. 640 с.
2. Скороходов В.Н. Исследование контактного взаимодействия металла с валками при несимметричном процессе прокатки тонких полос: дис. ... канд. техн. наук. М., 1977. 193 с
3. Колыбанов А.Н. Один из возможных вариантов воспроизведения математической модели расчета параметров несимметричной прокатки // Калибровочное бюро. 2018. № 13. С. 15-19.
4. Rummyantsev M.I., Tulupov O.N. Further developments in simulation of metal forming processes // CIS Iron and Steel Review. Vol. 16 (2018). Pp. 21-24.
5. Салганик В.М., Мельцер В.В. Исследование на ЭВМ деформаций и нагрузок валковой системы кварто: учеб. пособие. Свердловск: УПИ, 1987. 78 с.
6. Salganik V. Mathematical modeling of roll load and deformation in a four-high strip mill // Metal Forming. The University of Birmingham. UK September. 2002. P. 9-11.
7. Rummyantsev M.R., Kolybanov A.N., Yesipova O.K. The simplifying the calculation of the strip profile during rolling in a four-high mill stand. "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE)", vol. 969, 2020.
8. Железнов Ю.Д. Прокатка ровных листов и полос. М.: Metallurgia, 1971. 198 с.
9. Кузнецов Л.А. Применение УВМ для оптимизации тонколистовой прокатки. М.: Metallurgia, 1988. 304 с.

Сведения об авторе

Румянцев Михаил Игоревич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mikhail.rummyantsev54@bk.ru

Завалицин Александр Николаевич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: zaval1313@mail.ru

Колыбанов Алексей Николаевич – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: aleexeev@gmail.com

УДК 662.749:519.85

ИЗУЧЕНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА В ПРОЦЕССЕ ГАЗИФИКАЦИИ

Свечникова Н.Ю., Пузина А.С., Селиверстова Т.Ю.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В настоящее время большое внимание уделяется накопившимся отходам углеобогащения. Изучены отходы флотации ООО «ММК-УГОЛЬ» с использованием полуколичественного метода на спектрометре ARL QUANT'X и термического на анализаторе STA 449 NETZSCH. Выявлена их повышенная влажность до 20,0%, высокое содержание органической массы – зольность от 49,2%. Предложено использовать отходы для получения генераторного газа в процессе газификации. Произведен сравнительный расчет материального баланса газификации отходов углеобогащения с использованием воздушного газа, водяного пара, полуводяного и оксидоводяного газов, определена низшая теплота сгорания и содержание СО в полученных генераторных газах.

Ключевые слова: отходы флотационного обогащения угля, сырье для газификации, теплота сгорания.

Отходы углеобогащения в виде шламов, кеков, флотохвостов, накопленный объем которых оценивается в 120 млн т, кроме высокой влажности и зольности, как правило, имеют мелкодисперсный гранулометрический состав, вязкотекучее состояние в исходном виде, также имеют еще более низкую теплоту сгорания и востребованность [1].

Один из способов переработки углеродсодержащих продуктов – газификация. Газификацией называют высокотемпературные процессы взаимодействия органической массы топлив или продуктов их термической переработки с воздухом, кислородом, водяным паром, диоксидом углерода или их смесями, в результате которых органическая часть топлива обращается в горючие газы.

Доля отходов флотации угольной мелочи (марки Ж, КС, ОС и КО) в общей схеме обогащения обогатительной фабрики ООО «ММК-УГОЛЬ» Кемеровской области составляет 18-20 % от общего объема отходов. Ежегодно в отвалы вывозятся около 2,0 млн т ценного материала.

Технический анализ отходов флотационного отделения ООО «ММК-УГОЛЬ» показал, что содержание серы в них составляет 0,50–0,64%, они имеют повышенную влажность 19,7–20,0%, что приводит к их слеживанию и комкованию, выход летучих веществ составляет 16,6–16,8%. Они имеют низкую зольность 49,2–68,9%, и вследствие этого высокое содержание органической

массы, что приводит к горению таких отходов в групповых отвалах.

Полуколичественным методом на энергодисперсионном рентгеновском спектрометре ARL QUANT'X были определены основные минерализующие компоненты отходов флотации, %: кварц – 26,8–46,3; оксиды алюминия – 8,9–11,1; кальция – 1,3–3,9; железа – 2,2–3,9 [2-5]. Ситовый анализ отходов показал, что частицы распределены неравномерно и по зольности они неоднородны, причем наибольшая зольность наблюдается у класса -0,008 мм.

В работе был проведен расчет газификации отходов углеобогащения ООО «ММК-УГОЛЬ» с использованием воздушного газа, водяного пара, полуводяного и оксидоводяного газов. В табл. 1-4 представлен материальный баланс газификации на 1000 кг отходов.

В табл. 5 представлена сравнительная характеристика генераторных газов, полученных с использованием различных газифицирующих агентов.

Сравнительный анализ показал, что при газификации оксидоводяным газом в генераторном газе содержится большее количество СО, но выход газа минимальный, а при газификации воздушным газом – выход газа максимальный, но содержание СО наименьшее. Поэтому целесообразно использовать полуводяной газ, т.к. содержание СО составляет 41,26 %, при этом выход газа 176,2 м³/кг, а теплота сгорания 6,07 МДж/м³.

Таблица 1

Материальный баланс газификации отходов углеобогащения ООО «ММК-УГОЛЬ» с использованием воздушного газа

Приход					Расход			
Компонент		кг	м ³	%	Компонент	кг	м ³	%
Отходы	Орг. часть отходов	249	-	20,6	Генераторный газ	223,06	182,7	22,9
	Влага	200	-	16,5				
	Зола	551,2	-	45,6	Зола	551,2	-	56,6
Воздух		208,58	173,9	17,26	Влага	200,1	-	20,5
Σ		1208,9		100	Σ	974,36		100

Таблица 2

Материальный баланс газификации отходов углеобогащения ООО «ММК-УГОЛЬ» с использованием водяного пара

Приход					Расход			
Компонент		кг	м ³	%	Компонент	кг	м ³	%
Отходы	Орг. часть отходов	198	-	19,4	Генераторный газ	202,7	166,2	20,7
	Влага	500	-	49				
	Зола	322	-	31,6	Зола	322	-	32,9
					Влага	452,3	-	46,3
Σ		1020		100	Σ	977		100

Таблица 3

Материальный баланс газификации отходов углеобогащения ООО «ММК-УГОЛЬ» с использованием полуводяного газа

Приход					Расход			
Компонент		кг	м ³	%	Компонент	кг	м ³	%
Отходы	Орг. часть отходов	302	-	27,8	Генераторный газ	214,96	176,2	22,6
	Влага	236	-	21,7				
	Зола	423,2	-	39,75	Зола	423,2	-	45,4
Воздух		126	151,2	11,6	Влага	304	-	31,9
Σ		1087,2		100	Σ	951,16		100

Таблица 4

Материальный баланс газификации отходов углеобогащения ООО «ММК-УГОЛЬ» с использованием оксिवодяного газов

Приход					Расход			
Компонент		кг	м ³	%	Компонент	кг	м ³	%
Отходы	Орг. часть отходов	287,3	-	25,5	Генераторный газ	192,76	158	21,9
	Влага	200	-	17,8				
	Зола	485	-	43,1	Зола	485	-	55,3
Воздух		153,4	184,1	13,6	Влага	200,1	-	22,8
Σ		1125,7		100	Σ	877,86		100

Таблица 5

Сравнительная характеристика генераторных газов, полученных с использованием различных газифицирующих агентов

Газ	Состав газа, %			Выход газа, м ³ /кг	Теплота сгорания, МДж/м ³
	CO	H ₂	N ₂		
Воздушный	30,5	-	69,98	182,7	3,11
Водяной	53,25	47,23	-	166,2	11,25
Полуводяной	41,26	19,0	39,74	176,2	6,07
Оксिवодяной	67,32	32,68	-	158,0	11,98

Таким образом, в работе изучены отходы флотации ООО «ММК-УГОЛЬ» с использованием полуколичественного метода на спектрометре ARL QUANT'X и термического на анализаторе STA 449 NETZSCH. Выявлена их повышенная влажность до 20,0%, высокое содержание органической массы – зольность от 49,2%.

Предложено использовать отходы для получения генераторного газа в процессе газификации. Произведен расчет материального баланса газификации отходов углеобогащения, определена низшая теплота сгорания и содержание СО в полученном генераторном газе.

Предложенный метод утилизации отходов позволит сократить нерациональное отчуждение земельных ресурсов, а также создать дополнительные источники получения энергии для металлургической промышленности.

Список литературы

1. Шпирт М.Л. Безотходные технологии. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М., Недра, 1986. 120 с.
2. Использование отходов флотации битуминозных углей в производстве керамического кирпича / А.А. Лавриненко, Н.Ю. Свечникова, Н.С. Конов-

ницына, Е.А. Игуменшева, О.В. Куклина, А.И. Хасанзянова // Химия твердого топлива. 2018. №6. С.64-68.

3. Изучение физико-химических свойств отходов углеобогащения с целью возможности использования их в качестве вторичного сырья / Н.Ю. Свечникова, В.Н. Петухов, О.В. Куклина, С.В. Юдина, А.С. Пузина, Т.Н. Ахметзянов, Я.В. Гаврюшина // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований «ТЕХНОГЕН-2019»: труды конгресса с международным участием и конференции молодых ученых. 2019. С. 226-229.
4. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Юдина С.В. Изучение физико-химических свойств отходов углеобогащения в качестве вторичного сырья // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XXIV Международной научно-технической конференции, проводимой в рамках XVII Уральской горнопромышленной декады. 2019. С. 259-263.
5. Газификация отходов углеобогащения / Н.Ю. Свечникова, С.В. Юдина, О.В. Куклина, Я.В. Гаврюшина, А.С. Пузина, Т.Н. Ахметзянов, Н.С. Осин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск, 2019. С. 233-234.

Сведения об авторах

Свечникова Наталья Юрьевна – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID ID: 0000-0001-9821-3183. E-mail: natasha-svechnikova@yandex.ru

Пузина Арина Сергеевна – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Селиверстова Татьяна Юрьевна – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.77.04

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРЕССИВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

Налимова М.В., Бабаджанова З.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Статья содержит описание применения метода лазерной абляции для создания регулярного микрорельефа на поверхности чугунных деталей для повышения их износостойкости. Рассмотрено принципиальное различие в создании микрорельефа поверхности между традиционными способами и лазерной абляцией. Эксперимент проводили с использованием чугунных пластин с нанесенным микрорельефом разной геометрии, создающим масляные карманы на поверхности. Для оценки износа пластин их использовали для точения детали из алюминия. Наряду с описанием эксперимента приводится анализ его результатов. Наличие масляных карманов на поверхностях трения повышает износостойкость чугунных пластин.

Ключевые слова: лазерная абляция, механическая обработка, масляные карманы, микрорельеф, износостойкость.

Для увеличения износостойкости деталей машин необходимо обеспечить определенные параметры микрогеометрии и свойства поверхностного слоя, обеспечивающие требуемые эксплуатационные характеристики деталей пар трения. В тех случаях, когда трение и износ должны быть минимальными, минимальной должна быть и площадь контакта. Поэтому необходимо придать поверхностям, находящимся в контакте, максимальные антифрикционные и маслоудерживающие свойства на стадии производства [1]. Эффективным способом, увеличивающим антифрикционные свойства и ресурс трущихся деталей, является нанесение на поверхности трения углублений в виде смазочных микрокарманов или микроканалов.

К традиционным способам обработки относятся: плосковершинное алмазное хонингование, сверление по разметке в кондукторе, вихревое и попутное фрезерование, точение через трафарет, вибродинамическое накатывание, а также накатывание профильным роликом. Перечисленные способы формообразования микрорельефа относятся к кинематическим способам, в котором инструмент кинематически жестко включен в систему «станок – приспособление – инструмент – деталь», что приводит к появлению значительных (порядка нескольких сот ньютонов) сил в контакте инструмент – деталь, способных деформировать прецизионные детали трения.

Затруднительно применение пластического деформирования и для деталей, изготовленных из высокотвердых материалов, например опор высо-

коточных осей приборов, изготавливаемых из твердых сплавов или искусственных минералов. Основными недостатками метода пластического формообразования микрорельефа является его относительно низкая производительность и большие усилия в контактной зоне, которые также деформируют прецизионные детали трения.

Перспективной технологией финишной обработки контактирующих поверхностей является лазерная абляция – метод удаления вещества с поверхности лазерным импульсом. При низкой мощности лазера вещество испаряется или сублимируется в виде свободных молекул, атомов и ионов. Происходит микровзрыв с образованием кратера на поверхности образца и светящейся плазмы вместе с разлетающимися твердыми и жидкими частицами. Лазерная абляция является примером инновационной, ориентированной на будущее технологии, направленной на улучшение трибологических свойств систем путем создания функционально оптимизированных поверхностных структур [2]. Данная технология обработки позволяет придавать требуемую форму, направление, глубину и длину масляного кармана [2, 3].

Для исследования механизма съема металла и разработки модели взаимодействия лазерного луча с поверхностью детали при изменении параметров лазерной обработки были изготовлены образцы из чугуна ВЧ-80-2 толщиной 5 мм в виде режущих пластин для точения детали из алюминия на токарном станке. Поверхности образцов шлифовали до шероховатости $Ra = 0,32 \dots 0,16$ мкм на плоскошлифовальном станке. На передние поверхности двух из трех сравниваемых образцов наносилась

сетка масляных карманов в виде прямых линий с различными шагами между линиями и разными режимами обработки (рис. 1). На поверхности одной пластины наносился микрорельеф в виде рисок с изменяющимся шагом. На поверхности второй пластины изменялась длина рисок. Третья режущая пластина была взята без масляных рисок и служила в качестве контрольного образца при оценке эффективности нанесенного на другие пластины регулярного микрорельефа.

Изменялись такие параметры, как мощность излучения в процентном соотношении от средней выходной мощности, частота следования импульсов, диаметр и скорость перемещения луча.

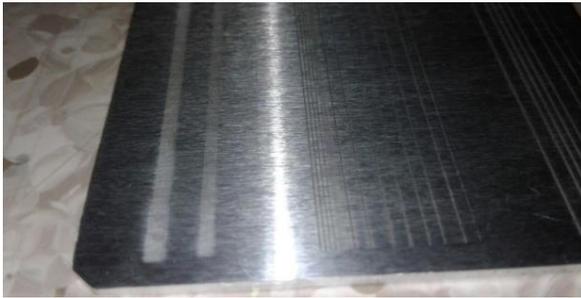


Рис. 1. Смазочные карманы на образцах-отходах

С помощью микроскопа были измерены параметры получившихся канавок на поверхностях образцов [4]. Путем анализа канавок при различных режимах обработки были определены зависимости параметров рисок от режимов обработки (рис. 2, 3).

В процессе нанесения профиля режимы обработки для различных участков менялись, что дало возможность менять глубину карманов и ширину линии. В результате проведения экспериментов установлена возможность формирования регулярного микрорельефа различных схем и видов, а также зависимость параметров рисок от режимов обработки.

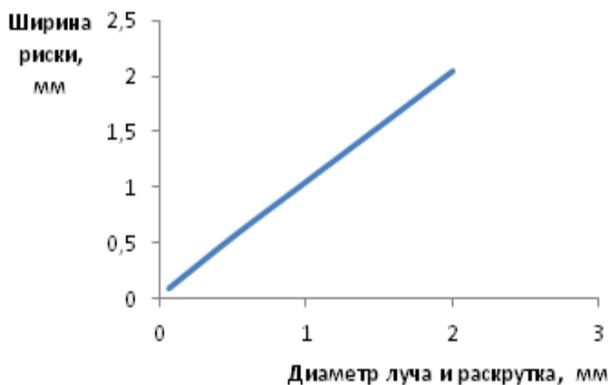


Рис. 2. График зависимости ширины риски от диаметра луча и раскрутки

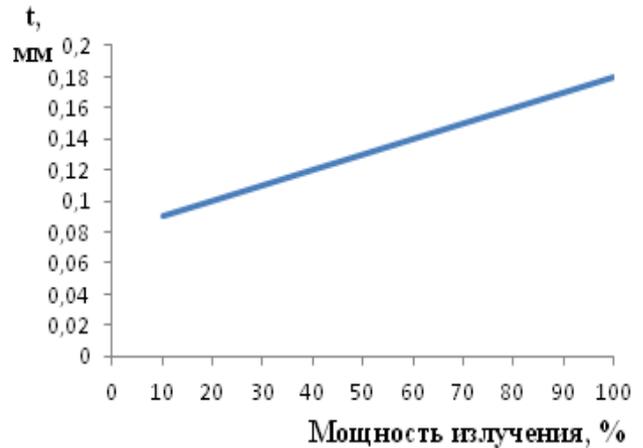


Рис. 3. Зависимость глубины снимаемого материала от мощности излучения

После проведения операции точения был выполнен замер износа режущих пластин и рассчитана наработка каждой пластины. Результаты сравнивались с пластиной без регулярного микрорельефа (контрольный образец). Величина износа определялась глубиной и шириной лунки, образующейся на передней поверхности от трения стружки.

За критерий работы масляных карманов принималась наработка режущей кромки с регулярным микрорельефом в процентном соотношении.

Наработку каждой пластины, мм, можно определить по формуле [5]:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{l}{s},$$

где D – диаметр обработанной поверхности, мм;

l – длина обработки, мм;

s – подача, мм.

Результаты замеров и расчетов представлены в таблице и на рис. 4.

	Наработка, мм	Ширина лунки, мм	Глубина лунки, мм
Поверхность 1	618000	1,52	0,31
Поверхность 2	602550	1,22	0,4
Поверхность 3	587100	1,14	0,42
Поверхность 4	571650	1,46	0,36
Поверхность 5	556200	1,41	0,38
Контрольный образец	540750	0,96	0,46

Как видно на рис. 4, наличие масляных карманов на поверхностях трения повышает износостойкость пластин. Глубина лунки уменьшается в 1,2 раза, а ширина лунки увеличивается в 1,2-1,6 раза.

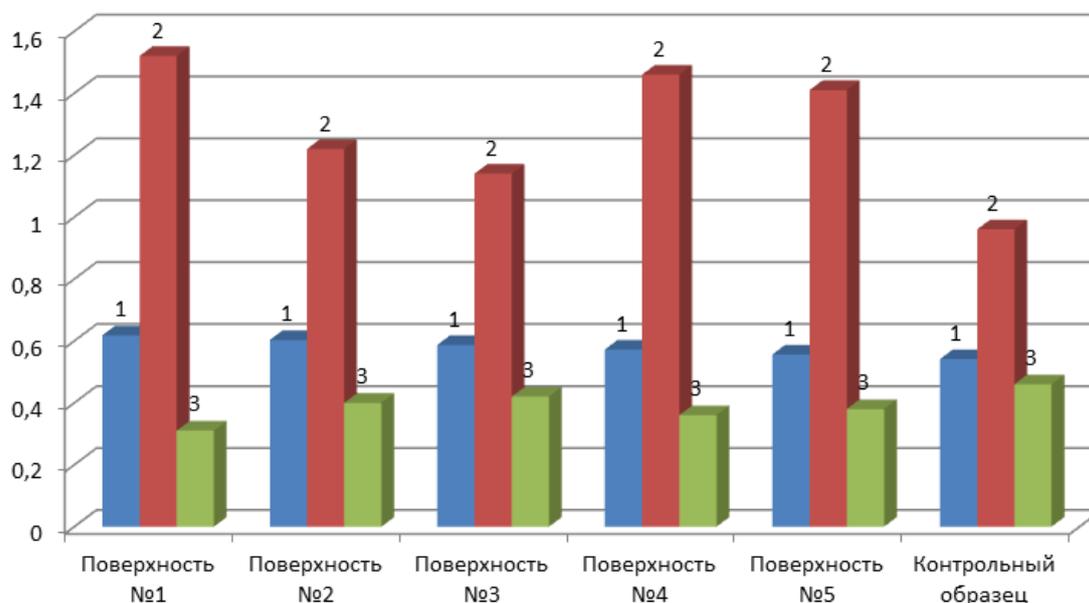


Рис. 4. Диаграмма результатов замеров и расчетов:

1 – наработка поверхностей, $\times 10^6$ мм; 2 – ширина лунки износа, мм; 3 – глубина лунки износа, мм

На основании результатов исследований можно утверждать, что за счёт изменения микрорельефа на рабочих поверхностях можно управлять процессами изнашивания, а также формировать необходимые триботехнические свойства поверхностей деталей. От этого, в свою очередь, во многом зависят эксплуатационные свойства узлов и деталей машин из чугуна, например, таких как, блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. 2-е изд. Л.: Машиностроение, 1982. 248 с.

2. Пячин С.А., Пугачевский М. А. Новые технологии получения функциональных наноматериалов: лазерная абляция, электроискровое воздействие. Хабаровск, 2013. 38 с.
 3. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
 4. Тескер Е.И., Гурьев В.А., Казак Ф.В. Неразрушающий метод контроля глубины зоны лазерного воздействия // Перспективные материалы. 2000. № 5. С. 84-86.
 5. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.

Сведения об авторах

Налимова Марина Викторовна – канд. техн. наук, доцент каф. МиТОДиМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: lite59@mail.ru

Бабаджанова Зарина Саломидиновна – студент гр. МКТм-19-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.746.5.047

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ОТЛИВКИ ТОЛСТЫХ СЛЯБОВ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Бунеева Е.А., Столяров А.М.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Рассмотрено влияние температурно-скоростного режима отливки толстых слябов на возможность корректировки длины лунки жидкого металла.

Ключевые слова: трубная сталь, непрерывная разливка, мягкое обжатие, сляб, охлаждение сляба.

На данный момент существует мировая тенденция перехода разливки стали на МНЛЗ толщиной 300 мм на 350 мм, которые применяются для изготовления труб большого диаметра. На территории РФ максимальная толщина получаемых на МНЛЗ слябов не превышает 355 мм, что приводит к необходимости их покупки за рубежом.

В кислородно-конвертерном цехе ПАО «ММК» на МНЛЗ №6 осуществляют разливку трубной стали для снабжения ЛПЦ толстыми слябами. В недавнем времени на этой машине непрерывного литья был осуществлен переход на толщину 350 мм, но появился ряд проблем. При разливке непрерывнолитых слябов толщиной 350 и выше скорость достаточно низкая, что, соответственно, снижает производительность. При сохранении скорости разливки лунка жидкого металла выйдет за пределы зоны вторичного охлаждения. Для эффективного воздействия на макроструктуру непрерывнолитых слябов толщиной 350 мм из трубной стали необходимо иметь лунку жидкого металла, не выходящую за пределы зоны вторичного охлаждения [2]. Поэтому одним из решений данной проблемы снижения скорости разливки непрерывнолитых слябов является корректировка температурно-скоростного режима.

В работе проведен анализ массива производственных данных из 428 плавов с отливкой непрерывнолитых слябов сечением 350×2600 мм из трубной стали класса прочности К60. Сталь имела следующий усредненный химический состав, % по массе:

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0,07	0,27	1,64	0,002	0,009	0,09	0,19
Cu	Al	N	Mo	Ti	Nb	
0,13	0,04	0,005	0,003	0,018	0,047	

Температура ликвидус металла равнялась 1518°C. В промежуточном ковше МНЛЗ температу-

ра стали изменялась в интервале от 1535 до 1553°C. Данные о перегреве металла и средней скорости вытягивания сляба [3, 4] из кристаллизатора:

Перегрев металла, °С	Количество плавов, шт. (% отн.)	Скорость вытягивания сляба, м/мин	
		фактическая	нормативная
< 25	140 (32,7)	0,70	0,75
25 – 30	212 (49,5)	0,67	0,70
> 30	76 (17,8)	0,65	0,65

Из представленных данных видно, что лишь в 17,8 % всех рассмотренных случаев среднее значение фактической скорости вытягивания сляба из кристаллизатора соответствовало нормативной (согласно технологической инструкции) величине – при наличии перегрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ выше 30°C. В остальных же случаях разливка производилась с меньшей скоростью, особенно при перегреве металла ниже 25°C, что ведет к снижению производительности одноручевой МНЛЗ [5]. Это объясняется тем, что при скорости около 0,75 м/мин протяженность лунки жидкого металла внутри отливки начинает превышать длину зоны вторичного охлаждения МНЛЗ, что вызывает сбои в работе автоматизированной системы машины с определением участка технологического канала, на котором следует производить мягкое обжатие заготовки.

На рис. 1 приведены параметры рекомендуемого температурно-скоростного режима разливки трубной стали на заготовки выбранного сечения.

Из рис. 1 видно, что максимально допустимая скорость вытягивания сляба для перегрева металла не выше 25 °С равна 0,75 м/мин. Поэтому для расчетов была принята данная скорость вытягивания сляба при трех значениях перегрева, равных 14, 19 и 24°C. На длину лунки жидкого металла оказывает влияние интенсивность вторичного охлаждения сляба.

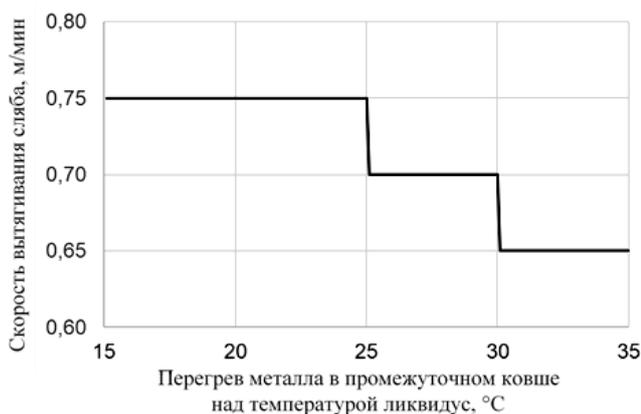


Рис. 1. Зависимость рекомендованной скорости вытягивания сляба толщиной 350 мм из низкоуглеродистой трубной стали от величины перегрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус

В трех вариантах расчета для каждого выбранного перегрева металла расходы воды по зонам ЗВО соответствовали нормативным. При этом для перегрева металла 14°C удельный расход воды на вторичное охлаждение сляба имел минимальную величину и его фактическое значение было условно принято за единицу относительного расхода воды – базовое значение. По аналогии были проведены расчеты длины лунки жидкого металла для трех значений перегрева металла и относительных расходов воды, увеличенных по сравнению с базовым значением на разную величину – в диапазоне от 2 до 33% (отн.). Результаты всех расчетов представлены на рис. 2 в виде зависимости длины лунки жидкого металла в слябах от относительного расхода воды на вторичное охлаждение при различном перегреве металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус.

Анализ рис. 2 показывает, что при отливке сляба толщиной 350 мм с максимально допустимой скоростью 0,75 м/мин для получения лунки жидкого металла в заготовке около 33,8 м (в границах 15-го сегмента ЗВО) необходимо при перегреве металла 19 °C иметь расход воды на вторичное охлаждение заготовки не менее чем на 25% (отн.) выше базового, а при перегреве 14°C – на 15% (отн.).

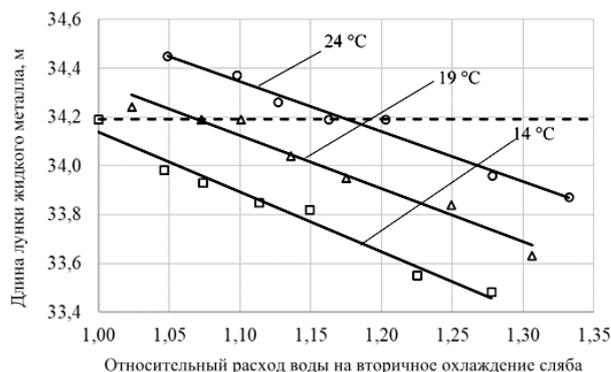


Рис. 2. Зависимость длины лунки жидкого металла в слябах от относительного расхода воды на вторичное охлаждение при различном перегреве металла (цифры у линий), пунктир – окончание ЗВО

Таким образом, установлено, что при отливке непрерывнолитых слябов толщиной 350 мм из трубной стали с максимально допустимой скоростью 0,75 м/мин возможна корректировка места приложения мягкого обжата путем регулирования длины лунки жидкого металла в заготовках соответствующим увеличением расхода воды на вторичное охлаждение заготовки.

Список литературы

1. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. *Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе: учебное пособие.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 379 с.
2. Столяров А.М., Мошкунов В.В., Казаков А.С. *Мягкое обжатие слябов при разливке трубной стали на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 116 с.
3. Мошкунов В.В., Столяров А.М. *Применение мягкого обжата непрерывнолитого сляба на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Теория и технология металлургического производства: Межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2010. Вып. 10. С. 57–62.*
4. Столяров А.М., Селиванов В.Н. *Технологические расчеты по непрерывной разливке стали: учебное пособие.* Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. 67 с.
5. Терентьев М.Е., Столяров А.М. *Скоростной режим непрерывной разливки трубной стали // Технологии металлургии, машиностроения и материалобработки.* Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. Вып. 16. С. 32–37.

Сведения об авторах

Бунеева Евгения Александровна – аспирант кафедры МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mcm@magtu.ru.

Столяров Александр Михайлович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mcm@magtu.ru.

УДК 543.241:378.147.88

УСТАНОВЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (рН) В УСЛОВИЯХ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Крылова С.А., Букина А. А., Давлетбердина Н.Р.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по установлению метрологических характеристик при измерении показателя рН в условиях учебной лаборатории ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». На основе полученных результатов измерений рН проведены оценки показателей методики анализа: прецизионности (повторяемости и воспроизводимости), правильности, точности. Рассчитанные метрологические характеристики позволили подтвердить ее реализуемость в условиях данной лаборатории с установленными показателями точности. Полученные результаты могут быть использованы при определении водородного показателя водных растворов в различных исследованиях.

Ключевые слова: водородный показатель рН, эталонные буферные растворы, метрологические характеристики.

Введение

Определение водородного показателя (рН) является на сегодняшний день самым востребованным методом контроля состава водных растворов и других жидких сред и используется для оценки качества неорганических и органических веществ, пищевых продуктов, лекарств, нефтепродуктов, для изучения и контроля состояния водных объектов окружающей среды.

Водородный показатель* является важнейшей физико-химической характеристикой, определяющей кислотно-основные свойства растворов. Его определение проводится как в ходе выполнения лабораторного практикума студентов по дисциплинам химического профиля, так и при выполнении научно-исследовательских работ студентов и преподавателей в условиях учебных и исследовательских химических лабораторий ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» [1-4]. Испытания с целью установления метрологических характеристик необходимы для организации и проведения теоретических и экспериментальных исследований по оценке показателей точности применяемой методики измерений рН; анализа соответствия показателей точности соответствующим требованиям определения рН растворов исследуемых объектов.

Условия эксперимента

Для подтверждения реализуемости методики измерений рН в условиях данной лаборатории необходимо провести экспериментальные метрологические исследования в «стенах лаборатории».

Основным алгоритмом получения и обработки данных экспериментального метрологического исследования является алгоритм с применением образцов для контроля (образцов для оценивания), в качестве которых были использованы эталонные буферные растворы 3-го разряда имеющие значения рН 1,65; 4,01; 6,86; 9,18 (табл. 1) [5].

Таблица 1

Эталонные буферные растворы

Наименование буферного раствора	Формула	рН раствора
Калий тетраоксалат 2-водный	$\text{KН}_3(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,65
Калий гидрофталат	$\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$	4,01
Калий дигидрофосфат	$\text{KН}_2\text{P}\text{O}_4$	6,86
Натрий моногидрофосфат	$\text{Na}_2\text{H}\text{P}\text{O}_4$	
Натрий тетраборат 10-водный	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	9,18

В качестве рабочих средств измерений использовали рН-метр «Эксперт» с диапазоном измерений от 0,00 до 14,00 ед. рН, ценой деления 0,01 ед. рН в комплекте с комбинированным рН электродом ЭСК-10605. Абсолютная погрешность измерения рН: 0,05рН.

Калибровка рН-метра выполнена по образцовым буферным растворам (см. табл. 1).

Результаты и обсуждение

Измерения рН проводились в четырех эталонных буферных растворах (*m*) в разное время двумя исследователями. Получено по 20 результатов (*N*) единичного анализа в условиях повторяемости (параллельных определений).

На основе полученных результатов измерений рН проведены оценки:

© Крылова С.А., Букина А. А., Давлетбердина Н.Р., 2021

* Величина рН соответствует отрицательному десятичному логарифму активности ионов водорода a_{H^+} в растворе: $\text{pH} = -\log(a_{\text{H}^+})$

- показателей прецизионности (повторяемости и воспроизводимости) методики анализа;
- показателя правильности методики анализа;
- показателя точности методики анализа.

Показатель точности устанавливался по каждому из четырех растворов.

Расчет проводился в соответствии с методикой [6].

Оценка показателя повторяемости методики анализа. Рассчитаны среднее арифметическое X_m и выборочная дисперсия S_{ml}^2 :

$$X_{ml} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{mli}}{N}; \quad (1)$$

$$S_{ml}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{mli} - X_{ml})^2}{N-1}, \quad (2)$$

где $m = 1, \dots, M(4); l = 1, \dots, L;$

N – результаты единичного определения рН, полученных в условиях повторяемости, $N=20$.

На основе полученных значений выборочных дисперсий проведена проверка выборочной дисперсии на однородность с использованием критерия Кохрена G_m :

$$G_{m(\max)} = \frac{(S_{ml}^2)_{\max}}{\sum_{l=1}^L S_{ml}^2}. \quad (3)$$

По однородным выборочным дисперсиям оценено среднее квадратическое отклонение S_{rm} (далее — СКО), характеризующее повторяемость результатов единичного анализа (параллельных определений):

$$S_{rm} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^L S_{ml}^2}{L}}. \quad (4)$$

СКО повторяемости в генеральной совокупности σ_{rm} приняты равным S_{rm} :

$$\sigma_{rm} \approx S_{rm}. \quad (5)$$

Рассчитали показатель повторяемости методики анализа в виде предела повторяемости r_{nm} (где n – число параллельных определений результата анализа (=2)):

$$r_{nm} = Q(P, n) \sigma_{rm}, \quad (6)$$

где $Q(P, n) = 2,77$ при $n = 2, P = 0,95$.

Оценка показателя воспроизводимости методики анализа. Выборочное СКО результатов анализа, полученных в условиях воспроизводимости определено по формуле:

$$S_{Rm} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^L (X_{ml} - X_m)^2}{L-1} + \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) S_{ml}^2}, m = 1, \dots, M, \quad (7)$$

Рассчитан предел воспроизводимости в генеральной совокупности:

$$R_m = Q(P, 2) \sigma_{Rm}, \quad (8)$$

где $Q(P, 2) = 2,77$ при $P = 0,95$.

СКО воспроизводимости в генеральной совокупности:

$$\sigma_{Rm} \approx k S_{Rm}, \quad (9)$$

где k — коэффициент, учитывающий условия проведения эксперимента, k может принимать значения от 1,2 до 2,0.

Оценка показателя воспроизводимости методики анализа. Выборочное СКО результатов анализа, полученных в условиях воспроизводимости, определено по формуле

$$\Theta_m = X_m - C_m, m = 1, \dots, M, \quad (10)$$

где X_m – среднее значение результатов анализа;

C_m – аттестованное значение m -го ОО (СО или АС).

Проверка значимости вычисленных значений была выполнена по t -критерию Стьюдента. Для этого рассчитали значение критерия t_m . Полученное значение t_m сравнили с $t_{\text{табл}}$. Оказалось $t_m < t_{\text{табл}}$, т. е. оценка смещения незначима на фоне случайного разброса, и в этом случае ее принимаем равной нулю ($\Theta_m = 0$).

$$t_m = \frac{|\Theta_m|}{\sqrt{\frac{S_m^2}{L} + \frac{\Delta_{om}^2}{3}}}, \quad (11)$$

где $S_m^2 = \frac{\sum_{l=1}^L (X_{ml} - X_m)^2}{L-1}$ – дисперсия, характеризующая разброс средних арифметических значений результатов единичного анализа X_{ml} , полученных в l -й лаборатории, относительного среднего значения результатов анализа X_m ;

Δ_{om} – погрешность аттестованного значения m -го ОО.

Определили показатель правильности методики анализа $\Delta_{с,m}$ (верхнюю ($\Delta_{с,вм}$) и нижнюю ($\Delta_{с,нм}$) границы):

$$\Delta_{с,вм} = |\Delta_{с,нм}| = \Delta_{см} = 1,96 \sqrt{\frac{S_m^2}{L} + \frac{\Delta_{om}^2}{3}} = 1,96 \sigma_{см}. \quad (12)$$

Оценка показателя точности методики анализа. Определили показатель точности методики анализа при получении экспериментальных данных в условиях воспроизводимости для принятой вероятности $P = 0,95$:

$$\Delta_{вм} = |\Delta_{нм}| = \Delta_m = 1,96 \sqrt{\sigma_{Rm}^2 + \sigma_{см}^2} = 1,96 \sigma_m(\Delta). \quad (13)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов метрологических показателей

Аттестованное значение образца, рН	Проверка выборочной дисперсии на однородность	СКО повторяемости, ед. рН	СКО повторяемости (в ген. сов.), ед. рН	Предел повторяемости σ , ед. рН	СКО случайной составл. погрешн., ед. рН	СКО воспроизводимости, ед. рН	Предел воспроизводимости R , ед. рН	Мат. ожид. систем. составл. погрешн., ед. рН	Проверка МО на значимость	Показатель правильности, ед. рН	Показатель точности, ед. рН
1,65	$G_{\text{расч.}}$ 0,327249485 $G_{\text{табл.}}$ 0,3894	0,026534 %	0,026879 1,6	0,0745 4,5	0,026471 %	0,0268 1,6	0,0743 0,7	0,0109	$t_{\text{расч.}}$ 1,83837 $t_{\text{табл.}}$ 2,09	0,0116 0,7	0,0538 3,3
4,01	$G_{\text{расч.}}$ 0,352557127 $G_{\text{табл.}}$ 0,3894	0,01438 %	0,014567 0,4	0,0403 1,0	0,062197 %	0,063 1,6	0,1745 0,4	0,01747	$t_{\text{расч.}}$ 1,256108 $t_{\text{табл.}}$ 2,09	0,0273 0,7	0,1265 3,2
6,86	$G_{\text{расч.}}$ 0,283085633 $G_{\text{табл.}}$ 0,3894	0,005943 %	0,006021 0,1	0,0167 0,2	0,056161 %	0,0569 0,8	0,1576 -0,4	-0,026	$t_{\text{расч.}}$ 2,071597 $t_{\text{табл.}}$ 2,09	0,0246 0,4	0,1142 1,7
9,18	$G_{\text{расч.}}$ 0,199889258 $G_{\text{табл.}}$ 0,3894	0,013439 %	0,013613 0,1	0,0377 0,4	0,079952 %	0,081 0,9	0,2243 0,0	0,00175	$t_{\text{расч.}}$ 0,097868 $t_{\text{табл.}}$ 2,09	0,035 0,4	0,1626 1,8

Для сравнения полученных результатов использовали данные методики [7] (входит в Государственный реестр методик количественного химического анализа и оценки состояния объектов окружающей среды, допущенных для государственного и производственного экологического контроля) и ГОСТ 27384-2002 [8]. Полученные нами значения показателей повторяемости и точности соответствуют указанным значениям методики [7] и норме точности по ГОСТ 27384-2002 [8] при измерении водородного показателя воды (на уровне норматива качества вод – 0,2) (меньше нормативного для всех эталонных образцов). Таким образом, точность результатов является удовлетворительной.

В условиях данной лаборатории были проведены измерения рН образцов воды из разных источников. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

рН образцов воды из разных источников

Источник	Питьевая вода, Ленинский район, г. Магнитогорск	Питьевая вода из скважины, г. Сибай	Питьевая вода, г. Сибай	Питьевая вода из скважины, поселок Золото, Баймакский район	Талая вода, г. Сибай
рН	7,6±0,2	7,2±0,2	7,6±0,2	6,8±0,2	5,5±0,2

Заключение

По результатам проведенных исследований проведена оценка показателей точности применяемой методики измерений рН в условиях учебной лаборатории ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». Рассчитанные метрологические характеристики позволили подтвердить ее реализуемость в условиях данной лаборатории с установленными показателями точности. Полученные результаты можно использовать при определении водородного показателя водных растворов в различных исследованиях.

Список литературы

1. Пат. №2634109 РФ, МПК С23F 11/18. Защитная композиция / И. В. Понурко, С. А. Крылова, З. И. Костина. Заявл. 20.12.2016; опубл. 23.10.2017. Бюл. № 30.
2. Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В. Получение и свойства стекловидной метафосфатной композиции для защиты элементов водонагревательных систем от коррозии // Стекло и керамика. 2016. № 2. С. 39–42.
3. Kostina Z.I., Krylova S.A., Ponurko I.V. Production and Properties of Glassy Metaphosphate Composition for Protecting the Elements of Water-Heating Systems from Corrosion // Glass and Ceram. 2016. V. 73. N 1. Pp. 71–74.
4. Исследование возможности применения фосфатной композиции для коррекционной обработки подпиточной воды в условиях ТЭЦ / Понурко И.В. и др. // Качество в обработке материалов. 2018. № 2 (10).
5. ГОСТ 8.135-2004. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Стандарт-

- титры для приготовления буферных растворов – рабочих эталонов рН 2-го и 3-го разрядов. Технические и метрологические характеристики. Методы их определения.
6. РМГ-61-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки.
7. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (ФР.1.31.2007.03794). Методические рекомендации по применению методики выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. Москва, 2016.
8. ГОСТ 27384-2002. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств. М., 2002.

Сведения об авторах

Крылова Светлана Александровна – канд. хим. наук, доцент кафедры металлургии и химической технологии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: svkryl@mail.ru. ORCID 0000-0002-4323-5454.

Букина Анастасия Алексеевна – студентка 4-го курса кафедры металлургии и химической технологии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Давлетбердина Наркас Радиковна – студентка 4-го курса кафедры металлургии и химической технологии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ИСТОЧНИКА ТОКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Шарафутдинов Д.М., Корнилов Г.П., Белевский Л.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Металлургия осталась одной из немногих успешно развивающихся отраслей промышленного производства на постсоветском пространстве, которой приходится выдерживать острую конкуренцию со стороны зарубежных партнеров. Из общего объема годового производства стали, превышающего 1500 млн т, более 50% приходится на Китай. Россия занимает пятое место после Китая, Японии, США, Индии. Одним из условий успешного продвижения отечественной металлопродукции на рынки сбыта является снижение ее себестоимости, которая среди прочих факторов определяется сроком службы механического оборудования. В процессе эксплуатации машин в узлах трения развиваются процессы изнашивания. Одним из способов уменьшения износа является нанесение функциональных покрытий различными технологиями, в том числе фрикционным плакированием гибким инструментом [1]. Для более глубокого изучения этого метода поставлена задача разработки и изготовления компактного переносного источника токовых импульсов. В статье приведена схема разработанного устройства, подробно описаны основные блоки и их характеристики.

Ключевые слова: источник токовых импульсов, выпрямитель, инвертор, высокочастотный трансформатор, широтно-импульсная модуляция.

Введение

Схемотехника построения силовых устройств, формирующих токовые импульсы, претерпела за последние десятилетия качественные изменения. Это связано с переходом, во-первых, от полупроводящих силовых ключей-тиристоров к полностью управляемым силовым транзисторам, во-вторых, от аналоговых схем управления к цифровым. Ниже на конкретном примере показана схема источника токовых импульсов, реализованная на новой элементной базе. При разработке схемы были заданы следующие выходные параметры устройства: частота и амплитуда импульсов тока. При этом учитывались следующие ограничения: питание от сети однофазного тока 220 В, входная мощность не более 5 кВт, минимальные габариты и возможность работы в режиме короткого замыкания с токовой отсечкой.

Описание устройства

Источник токовых импульсов предназначен для устройства нанесения покрытий на трущиеся поверхности в соответствии с известной технологией [1].

Функциональная блок-схема приведена на рис. 1.

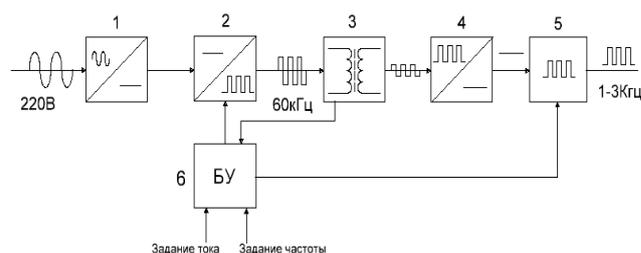


Рис. 1. Функциональная схема источника токовых импульсов:

- 1 – выпрямитель с фильтром; 2 – инвертор;
3 – высокочастотный трансформатор; 4 – выпрямитель;
5 – формирователь импульсов; 6 – блок управления

При разработке схемы реализованы следующие особенности: для уменьшения габаритов и массы трансформатора 3 принята повышенная частота порядка 60 кГц и так называемая инверторная технология [2]. Исходная частота сети 50 Гц преобразуется в частоту 60 кГц. В результате первичная обмотка имеет 11 витков, а вторичная 3 витка. В итоге масса трансформатора и расход меди снижаются более чем в 15 раз. Для контроля выходных параметров токовых импульсов задействована обратная связь по току, которая воздействует на выходное напряжение инвертора.

Ниже дано краткое описание и подробные схемы перечисленных выше блоков.

Выпрямитель служит для выпрямления переменного напряжения сети, фильтр для сглажи-

вания импульсов в результате имеем сглаженное, практически постоянное напряжение, равное амплитудному значению $\sqrt{2} \cdot 220 = 310 \text{ В}$. Для постепенной зарядки входной емкости предусмотрена схема плавного пуска с резистором R58 и шунтирующим реле (рис. 2).

Инвертор представляет собой полумостовой преобразователь, преобразующий выпрямленное постоянное напряжение сети в переменное напряжение прямоугольной формы; он состоит из полевых транзисторов (Т3, Т4), которыми управляет широтно-импульсный модулятор (ШИМ) через трансформатор гальванической развязки (ТГР).

ШИМ собран на микросхеме UC3846 по схеме стабилизатора тока по первичной цепи. Микросхема формирует высокочастотные, прямоугольные импульсы частотой 60 КГц, которые управляют транзисторами полумостового преобразователя, управление транзисторами происходит через трансформатор гальванической развязки для увеличения надежности схемы и ее простоты. Регулировка тока происходит за счет

изменения длительности импульса, стабилизация тока осуществляется через обратную связь по току, через трансформатор тока.

Микросхема ШИМ TL494 служит для формирования выходных прямоугольных импульсов с возможностью регулировки частоты от 1 до 3 КГц и длительности импульсов (резисторы R3, R4) (рис. 3).

Высокочастотный трансформатор (ТР) понижает входное импульсное высокочастотное напряжение с полумостового преобразователя 155 В до 40 В.

Переменное напряжение с выхода высокочастотного трансформатора подается на двухполупериодный выпрямитель со средней точкой (диоды D1, D2 (рис. 4).

Формирователь импульсов преобразует постоянное напряжение с выхода высокочастотного выпрямителя в однотактные импульсы, он состоит из параллельно соединенных полевых транзисторов для увеличения общей пропускной способности по току (Т1, Т2) (см. рис. 4).

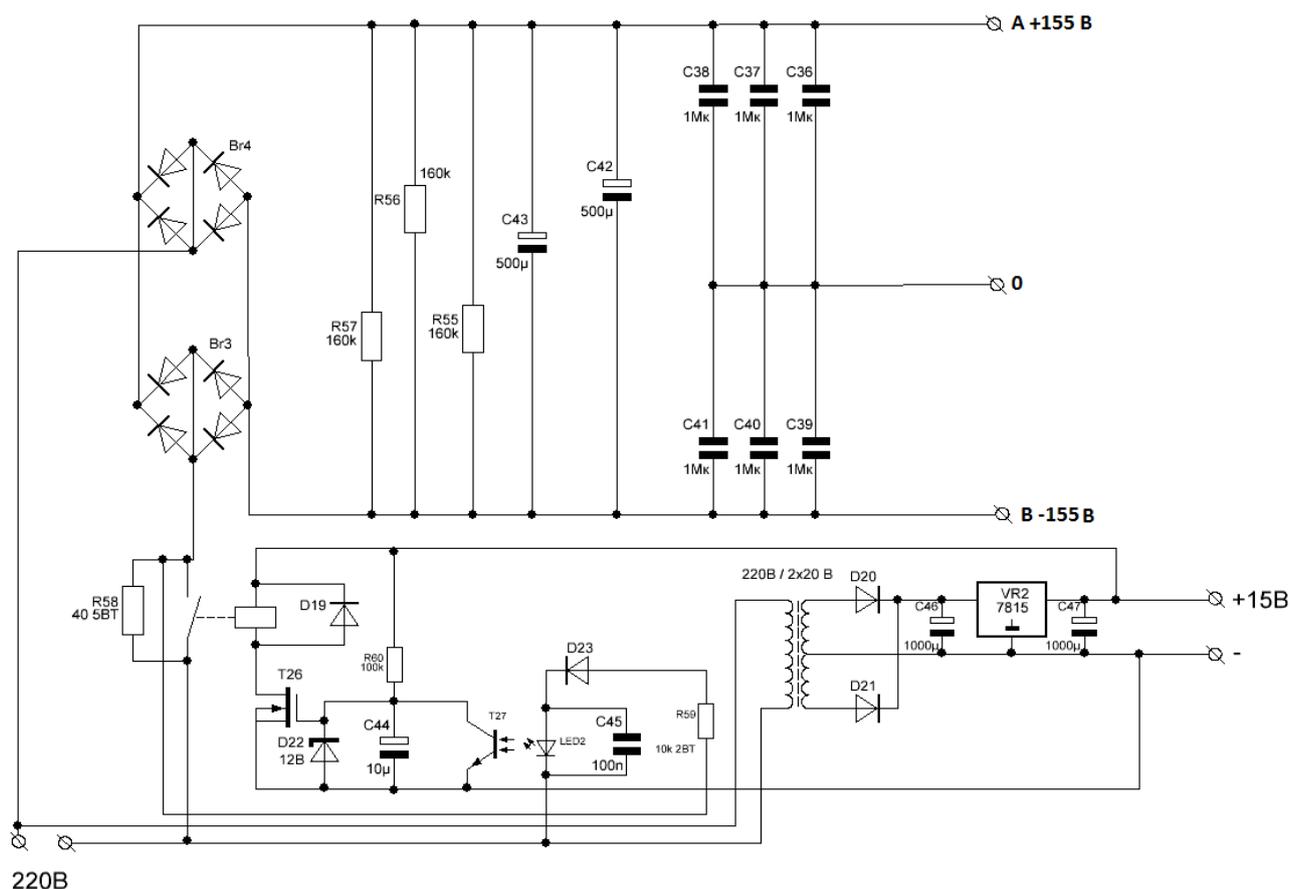


Рис. 2. Принципиальная схема выпрямителя

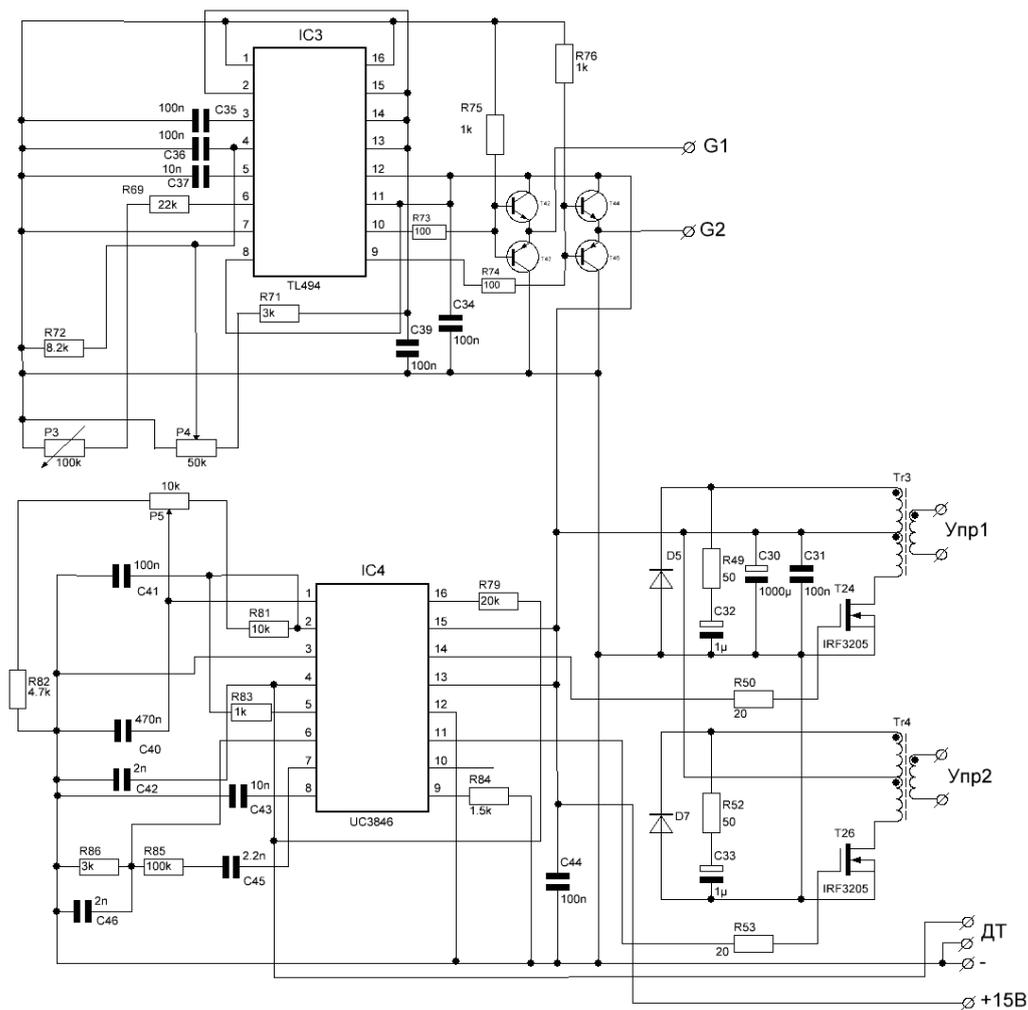


Рис. 3. Принципиальная схема блока управления

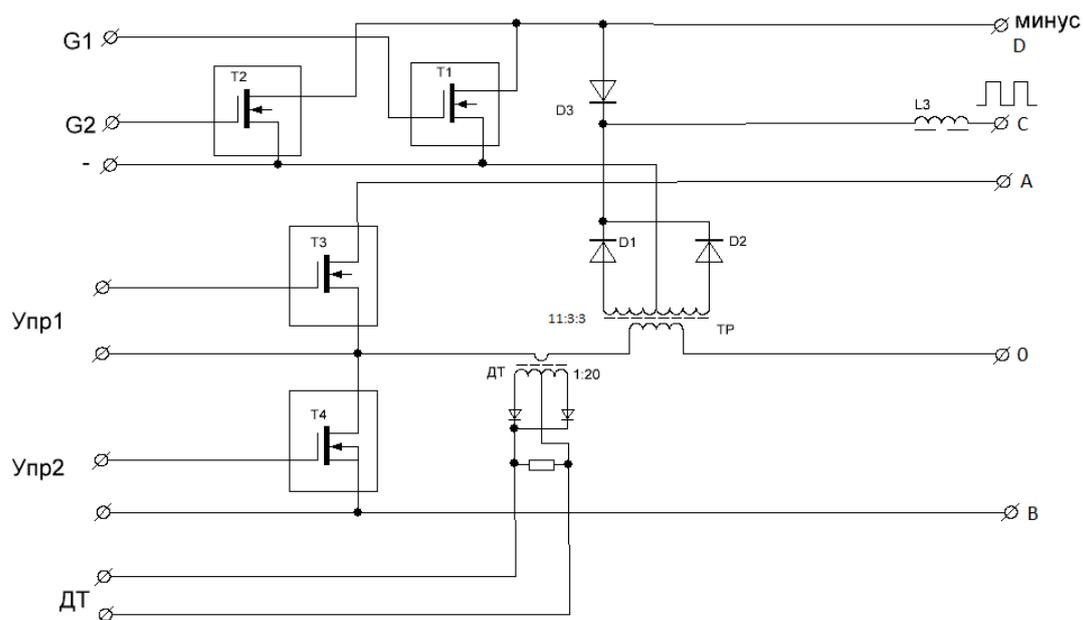


Рис. 4. Силовая схема устройства

На рис. 5 показан источник токовых импульсов в сборе, а на рис. 6 приведены осциллограммы токовых импульсов различной длительности при замыкании выходных зажимов на опытный образец.

Заключение

В статье рассмотрена разработанная авторами схема источника токовых импульсов, способная функционировать в режиме короткого замыкания. В ходе проведенных экспериментальных испытаний подтверждена достаточная надежность работы и безопасность обслуживания.

Список литературы

1. Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. Магнитогорск: Лицей РАН, 1996. 231 с.
2. Джендубаев А.-З.Р., Кононов Ю.Г., Джендубаев Э.А.-З. Электроэнергетика будущего: инверторные технологии и постоянный ток // Энергия единой сети. 2020. №4. С. 58-70.

3. UC3846N Datasheet - Texas Instruments. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/29412/TI/UC3846N.html>
4. TL494 Datasheet - Motorola, Inc. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/5775/MOTOROLA/TL494.html>
5. Выбор топологии преобразователя. URL: <https://russianelectronics.ru/vybor-topologii-preobrazovatelya/>
6. Лебедев А.В. Транзисторные источники питания для электродуговой сварки // Автоматическая сварка. 2012. № 9. С. 34-40.
7. Каждой топологии – своя технология. URL: <https://russianelectronics.ru/vybor-topologii-preobrazovatelya/>
8. Перспективная схемотехника сварочных инверторов. URL: <https://303421.selcdn.ru/soel-upload/clouds/1/iblock/fb7/fb7987cff70240e07cb933c380c71359/200901036.pdf>
9. Расчет импульсных трансформаторов двухтактных преобразователей. URL: <https://cxem.net/software/excellentIT.php>
10. Беглый обзор топологий конверторов. URL: <http://we.easyelectronics.ru/power-electronics/beglyy-obzor-topologiy-konvertorov.html>



Рис. 5. Источник токовых импульсов в сборе

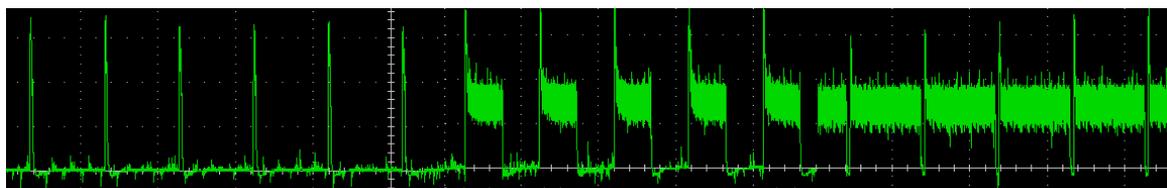


Рис. 6. Осциллограммы токовых импульсов

Сведения об авторах

Шарафутдинов Данил Маратович – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: danil.sharafutdinov2017@yandex.ru.

Корнилов Геннадий Петрович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ЭПП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: korn_mgn@mail.ru.

Белевский Леонид Сергеевич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЗВУКОВЫХ ФАЙЛАХ

Федорова А.Р., Шпак В.А., Лукьянов Г.И.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В представленной статье проведено сравнение форматов звуковых файлов и рассмотрены их структуры. Определены основные методы стеганографии, применяемые при скрытии конфиденциальной информации в звуковых файлах, и способы их выявления. Разработана структура ПО и определен необходимый функционал для полного анализа файлов. Рассмотрено реализованное ПО для поиска скрытой конфиденциальной информации в звуковом файле и проведена оценка работы.

Ключевые слова: стеганография, сокрытие данных, конфиденциальная информация, теги звукового файла, спектрограмма звукового файла, обложка звукового файла.

Предпосылками для внедрения стенографии являются большое медиапространство и неприемлемый уровень регулирования авторских прав. Уровень развития технологии звуковых файлов в части информационного объема позволяет хранить в них различную информацию. Конфиденциальную информацию спрятать достаточно просто, но выявление представляет ряд проблем, поэтому актуальность данной работы заключается в разработке ПО для стегоанализа, который позволит выявлять скрытую конфиденциальную информацию в звуковых файлах посредством такого метода, как стенография [1].

Одной из важнейших проблем в данном вопросе является отсутствие программ, позволяющих проводить комплексный анализ с целью выявления скрытой информации, в связи с этим практическая ценность работы будет заключаться в решении проблем с утечкой информации и скрытой ее передачи [2, 3].

Рассмотрим сравнение форматов звуковых файлов в таблице.

Анализируя возможность реализации стеганографии в звуковых файлах разных форматов с помощью программ, распространяемых в свободном доступе, можно выявить следующие места, где может быть спрятано стегосообщение:

1. Теги позволяют хранить, а также сохранять какие-либо нестандартные данные, поэтому в них можно спрятать стегосообщение. К примеру, некоторые программы хранят там настройки громкости и нормализации для каждого отдельного файла. Медиаплееры, как правило, не отображают неизвестные им параметры.

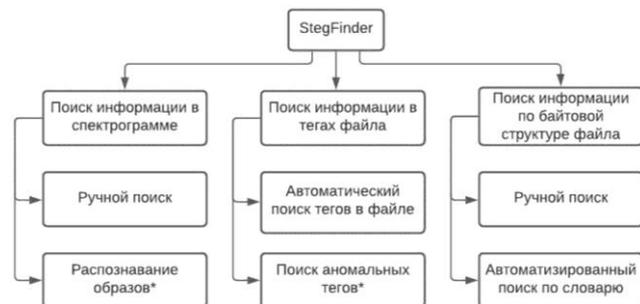
Сравнение форматов звуковых файлов			
	MP3	WAV	OGG
Обложка	+	-	-
Метаданные	ID3v1 ID3v2 ID3v3	RIFF XMP	RDF XML-семейство (включая RDF, SMML и XMP) XML-метаданные MusicBrainz Ogg Skeleton
Содержимое заголовка	Frame sync MPEG version Layer ID CRC Bitrate ID Sampling frequency ID Personal Bit Channel Expansion mode Author rights Original	ChunkId ChunkSize Format Subchunk1Id Subchunk1Size AudioFormat NumChannels SampleRate ByteRate BlockAlign BitsPerSample Subchunk2Id Subchunk2Size Data	Capture pattern Version Header type Granule position Bitstream serial number Page sequence number Checksum Page segments Segment table

2. В файле обложки звуковой, которая находится в теге, можно дописать после IEND-чанка какой-то текст, причем файл так и будет определяться как изображение. Более того, абсолютно никаких искажений не будет замечено. Сравнив HEX-представление содержимых звукового файла, можно увидеть, что дописанный шестнадцатеричный код после IEND-чанка – стегосообщение.

3. Спектрограмма. В нашем случае она является дополнительным объектом звукового файла. Для того чтобы скрыть стегосообщение в спектрограмме, выполняется следующий алгоритм: создается картинка, на которой написан нужный

текст и далее при помощи программы формирует- ся звуковая запись [4, 5].

Рассмотрев сравнение звуковых файлов, а также определив места сокрытия данных, перед началом реализации ПО была разработана схема его функциональных возможностей (рис. 1).



* - данный функционал находится в стадии разработки

Рис. 1. Схема функциональных возможностей ПО

При использовании разработанного нами ПО для поиска скрытых стегосообщений пользователю нужно открыть обрабатываемый звуковой файл. Во время его загрузки приложение в отдельном потоке формирует изображение спектрограммы, используя библиотеку Bass.Net (рис. 2).

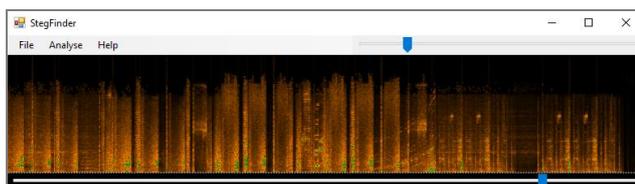


Рис. 2. Общий вид ПО

Ширину изображения (количество пикселей в спектрограмме на миллисекунду проигрывания аудиофайла) пользователь регулирует верхним ползунком. Высота изображения зависит от размеров окна. Возможна загрузка спектрограммы в реальном времени, одновременно с проигрыванием звукового файла. Формирование изображения спектрограммы может занять несколько минут, поэтому пользователь может параллельно исследовать теги аудиофайла (автор, название, обложка и т.д.), в том числе те, которые нельзя посмотреть стандартными средствами ОС Windows.

Поиск тегов происходит благодаря использованию библиотеки TagLib. В некоторых случаях они могут быть скрыты в комментариях или иных местах отдельной функцией реализован поиск в HEX-содержимому звукового сообщения по ключевым словами. Приложение анализирует текстовый файл с данными, утечку которых допустить нельзя, и также добавили эти данные в звуковой файл. ПО проводит поиск по звуковому файлу на наличие совпадений с этими словами.

Предварительно создав файл, в котором находятся стегосообщения, нами было протестировано приложение. В процессе работы была получена спектрограмма (рис. 3).



Рис. 3. Сокрытие данных в спектрограмме

Выявление тега с видимым несоответствием свойства и значения представлено на рис. 4.

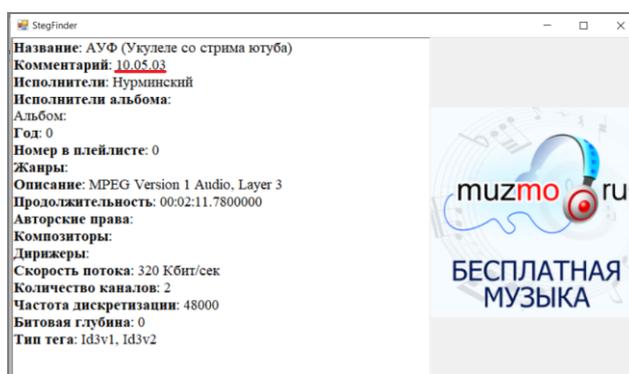


Рис. 4. Сокрытие данных в тегах

А также заранее в байтовую структуру аудиофайла было вписано ключевое слово «password». Программа выявила его наличие.

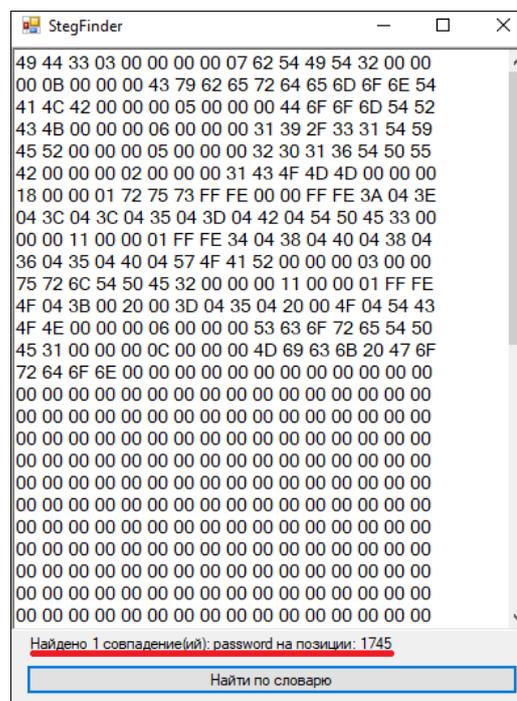


Рис. 5. Поиск по словарю

Значимость данной работы заключается в упрощении поиска следов стеганографии, а также экономии времени, так как сделанная нами программа является мультифункциональной.

Актуальная версия ПО доступна в репозитории GitHub по ссылке <https://github.com/ShikiBot/StegFinder>.

Список литературы

1. Жилияков Е.Г., Лихолоб П.Г., Кисиленко А.В. Метод скрытой упаковки сведений в файлы речевых данных // Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 4. № 2. С. 100-108.
2. Михайлова У.В., Лукьянов Г.И. Выявление внутреннего нарушителя с применением анализа трафика локальной сети предприятия // Актуальные

проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции. 2019. С. 399.

3. Баранкова И.И., Михайлова У.В., Лукьянов Г.И. Формирование компетенций специалиста по информационной безопасности // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования Тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции. 2019. С. 428.
4. Спрятать файл в аудиозапись [Электронный ресурс]. URL: <http://www.spy-soft.net/spryatat-fajl-v-kartinku-muzyku/> (дата обращения: 20.03.2021).
5. Прячем секретные файлы внутри аудиозаписи как Мистер Робот [Электронный ресурс]. URL: https://pikabu.ru/story/pryachem_sekretnye_fayly_vnutri_audiozapisi_kak_mister_robot_deepsound_5854241 (дата обращения: 20.03.2021).

Сведения об авторах

Федорова Анастасия Романовна – студентка группы АИБ-19-2, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: anastasia.43ag@gmail.com.

Шпак Виталий Алексеевич – студент группы АИБ-17, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: xxx-yuu-2014@inbox.ru.

Лукьянов Георгий Игоревич – ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: decorsi@mail.ru.

УДК 004.65

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПОРТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Махмутова М.В., Гаврилова И.В., Масленников Н.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им.Г.И.Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье представлены основные позиции предпроектной стадии проекта создания нового автоматизированного модуля «Спортивная школа» в рамках системы электронного документооборота с использованием платформы «1С: Предприятие 8.3»: описание основных бизнес-процессов предметной области и их визуализация посредством построения функциональной модели в нотации IDEF0; обоснован выбор технологии разработки и внедрения программного продукта с применением метода анализа иерархий Т. Саати.

Ключевые слова: автоматизация, предметная область, моделирование, бизнес-процесс, критерии выбора, технология внедрения.

В наше время без грамотного и эффективного управления невозможно представить безупречное функционирование организации любой сферы деятельности. Находит широкое применение и пользуется спросом использование современных технологий, а именно разработка и внедрение автоматизированных информационных систем. Оснащение компании компьютерами и интеграция последних в локальную сеть – это только первый этап автоматизации бизнеса. Автоматизированная информационная система, основываясь на единой информационной среде, берет на себя все рутинные процессы, связанные с документооборотом и делопроизводством, отчетностью, поддержанию контактов и т.д. Безусловно, внедрение такой системы повышает эффективность работы организации, снижает вероятность возникновения ошибок, сокращает общее время и улучшает качество решения поставленных задач вне зависимости от структуры и сферы деятельности компании.

Любая комплексная информационная система, с помощью которой можно интегрировать данные в единую систему документооборота и быстро создавать отчеты и выходные документы любой сложности, отвечает определенным требованиям, наиболее важными из которых являются архитектура клиент-сервер, открытость, эффективность, масштабируемость и гибкость.

Автоматизированная информационная система (далее по тексту АИС) – это набор программного и аппаратного обеспечения, предназначенный для создания, передачи, обработки, распространения, хранения и управления данными и информацией, а также для создания расчетов и формирования отчетности с целью решения задач пользователей.

В результате предпроектного обследования было определено, что деятельность Челябинской региональной спортивной организации «Союз Киокусинкай Канку» включает в себя такие бизнес-процессы, как обучение детей боевому искусству Каратэ, организацию спортивных сборов и соревнований, проведение экзаменов на пояса, организация показательных выступлений. В настоящее время процессы учета спортсменов, посещения тренировок, спортивного инвентаря, рабочего персонала, оплаты за занятия, составления и контроля расписания тренировок ведутся вручную в бумажном виде.

В основе организационной структуры Магнитогорской городской общественной организации «Федерация Киокусинкай Канку» лежит функциональный принцип. Непосредственное руководство компанией осуществляет генеральный директор. Управление отделами возложено на соответствующих руководителей: секретарь; бухгалтерия; заместитель директора по УВР; заведующий хозяйством.

Для более наглядного представления необходимо выполнить визуализацию результатов обследования и анализа предметной области с использованием метода моделирования. Построена функциональная модель бизнес-процесса «Предоставление услуг по обучению детей киокусинкай каратэ» в нотации методологии IDEF0. Данная модель представлена диаграммами, где отображается назначение (основные функции бизнес-процесса) системы и необходимые входные и выходные данные, управляющая и регламентирующая информацию, а также механизмы.

На рис. 1 представлена главная диаграмма функциональной модели бизнес-процесса «as-is» – как есть.

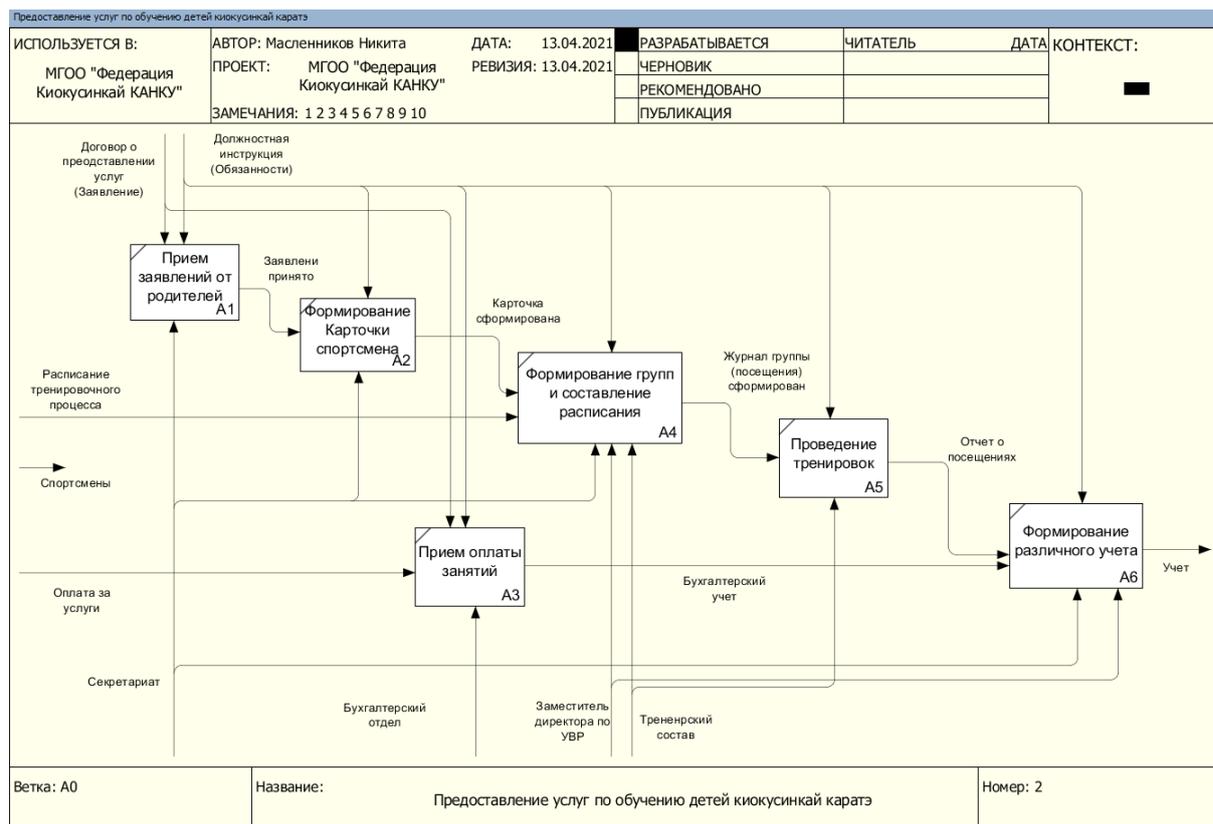


Рис. 1. Главная диаграмма функциональной модели бизнес-процесса «Предоставление услуг по обучению детей киокусинкай каратэ» в нотации IDEF0 «as-is» – как есть

В результате анализа становится очевидным, что большинство бизнес-процессов сталкиваются с определенными трудностями:

- прием заявлений от родителей ведется в бумажном виде и хранится в архиве;
- формирование карточки спортсмена ведется в бумажном виде и хранится в архиве;
- формирование групп и составление расписания ведется вручную и бумажном виде;
- есть вероятность потери Карточки спортсмена со всей информацией;
- сбор средств за тренировки фиксируется в бумажном виде и появляется вероятность недостачи при учете;
- журнал посещения детей ведется в бумажном виде, есть вероятность потери журнала;
- всевозможная статистика (приход/уход, посещение занятий и т.п.) производится вручную и занимает очень много времени.

Для формирования отчетов необходимо каждый раз поднимать архивы, что является очень трудоемким процессом.

Для ведения традиционного документооборота характерны следующие проблемы: возможность потери документов, накопление определенного объема документов с неизвестным назначением и источником, возможность попада-

ния документации в чужие руки, потери рабочего времени в связи с поиском необходимого документа, с подготовкой и согласованием документации, рост затрат в связи с созданием многочисленных копий документов.

Руководитель организации хотел бы оптимизировать работу секретариата, сделать ее более технологичной, системной и качественной. Необходимо проведение мониторинга информации о спортсменах организации и рабочем персонале, эффективное ведение карточки спортсмена (создание и обновление информации), эффективное ведение разрядной книжки, электронный учет посещаемости занятий и уплаты за месяц, быстрое формирование отчетов согласно запросу.

Для сотрудников организации АИС представляет собой приложение базы данных, позволяющее производить мониторинг и заносить имеющиеся данные о спортсменах, сотрудниках, вести различные учеты (посещаемости спортсменов, уплаты за месяц, спортивного инвентаря, соревнований и их результаты, хранение справочников), быстрое формирование отчетов.

Необходимо провести подбор ИТ-решений для автоматизации работы спортивной организации. Предлагаются следующие основные критерии выбора ИТ-решения АИС для коммерческого предприятия:

1) АИС должна обеспечивать минимальные затраты на первоначальную и последующие приобретения лицензий программного обеспечения (K1);

2) АИС должна обеспечивать полноту необходимого функционала (K2);

3) АИС должна иметь возможность создания произвольных отчетов по введенным в систему данным (K3);

4) АИС должна иметь дружественный пользовательский и административный интерфейс (K4).

Определим альтернативы автоматизированных решений:

1) «Тренерская Online» (M1);

2) «1С: Предприятие 8.3» (M2);

3) CRM для спортивной школы «Параплан» (M3).

В соответствии с методом Т. Саати согласно шкале субъективных суждений сравнения критериев определены приоритеты критериев и их вес. Диаграмма результатов вычислений по методу Т. Саати представлена на рис. 2.

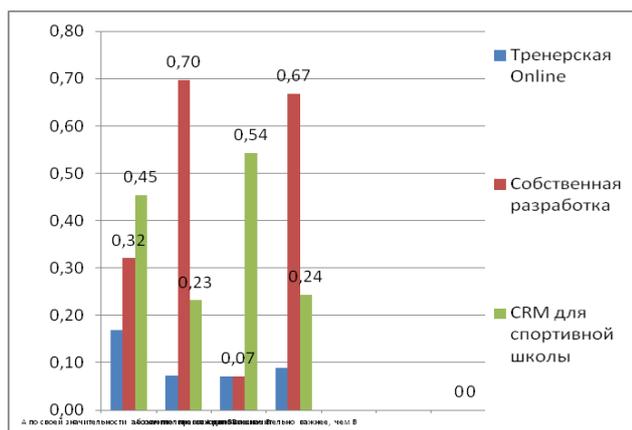


Рис. 2. Диаграмма результатов вычислений по методу Т. Саати

Изучив и проанализировав с использованием современных систем принятия решения по определенным критериям программные продукты, предлагаемые на рынке, принято решение об использовании программных продуктов платформы «1С:Предприятие 8.3» для разработки модуля «Спортивная школа».

Каждую программу линейки «1С: Предприятие 8» можно настроить под конкретную отрасль. В данном случае для спортивной организации. Данная программа понадобится для автоматизации работы организации в части документооборота. Она позволит автоматизировать процессы: бухгалтерский учет; учет спортивного инвентаря; ведение электронной Карточки спортсмена; журнал посещений; формирование статистики посе-

щаемости; статистика приход/уход спортсменов; статистика расходов; формирование расписания тренировок; адаптация для работы на различных устройствах; быстрое формирование различных отчетов согласно запросу. Есть возможность дополнение/изменение функционала по мере необходимости.

Теперь необходимо произвести подбор методологии (методологий) внедрения, которые будут выступать основой для внедрения выбранного программного решения. Для этих целей воспользуемся методом анализа иерархий Т. Саати.

По результатам анализа предметной области и требований всех групп пользователей были определены следующие основные критерии выбора методологии внедрения АИС для предприятия:

1) методология должна обеспечивать доступность (K1);

2) методология должна обеспечивать универсальность (K2);

3) методология должна обеспечивать простоту использования (K3);

4) методология должна обеспечивать автоматизацию использования (K4).

Определим альтернативы (методологий):

1) Oracle Unified Method (AIM) (M1);

2) Корпоративная технология внедрения от 1С (M2);

3) ASAP (M3).

Согласно шкале субъективных суждений сравнения критериев определены приоритеты критериев, составлена матрицы попарных сравнений для альтернатив по каждому критерию. Выполнены вычисления, определены комбинированные весовые коэффициенты для каждой альтернативы, результаты представлены в таблице.

Комбинированный весовой коэффициент

Методологии, которые оцениваются (первый этап)	Сокращение	Комбинированный весовой коэффициент (модерниз. метод)
OUM (Oracle AIM)	M1	0,09
ТКВ от 1С	M2	0,35
ASAP	M3	0,34

Таким образом, методология внедрения «ТКВ от 1С» получила наибольший комбинированный весовой коэффициент среди всех оцениваемых. Это говорит нам о том, что среда наилучшим образом подходит для дальнейшего использования при разработке проекта автоматизированной информационной системы для МГОО «Федерация Киокусинкай Канку» на платформе «1С:Предприятие 8.3».

«1С:Технология корпоративного внедрения 2.0» (далее 1С:ТКВ) – это база знаний для планирования, организации и контроля реализации проектов по созданию и внедрению информационных систем на базе программных продуктов компании «1С».

Создание автоматизированного модуля «Спортивная школа» в рамках системы электронного документооборота с использованием платформы «1С: Предприятие 8.3» позволит решить все вышеупомянутые проблемы, и при этом появляются дополнительные преимущества в работе, среди которых: более организованная и слаженная работа структурных подразделений; упрощение процедуры работы с документами и повышение её эффективности; повышение производительности труда за счет сокращения времени работы с документами; повышение оперативности доступа к необходимой информации; возможность разграничения доступа структурных подразделений и сотрудников к информации.

Реализация проекта позволит интегрировать данные в единую систему документооборота и оперативно проектировать отчеты и выходные документы любой сложности, удовлетворить всем требованиям, главными из которых являются клиент-серверная архитектура, открытость, оперативность, масштабируемость и гибкость.

Список литературы

1. Махмутова М.В., Белоусова И.Д., Москвина Е.А. Бизнес-ориентированная модель управления информационными технологиями в производственной компании // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 1. С. 94-98. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37385> (дата обращения: 16.11.2020)
2. Махмутова М.В., Белоусова И.Д. Сервисный подход к управлению ИТ-услугами в производственной компании // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2018. Т. 9. № 1. С. 65-68.
3. Управление качеством предоставления ИТ-услуг на промышленном предприятии [Электронный ресурс] / Махмутова М.В., Тороторина А.А., Тороторин Е.В., Клюкин А.А. // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11-2. С. 291-295. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=37806> (дата обращения 16.11.2020).
4. Масленникова О.Е., Гаврилова И.В. Портфель проектов по программной инженерии [Электронное издание]. Магнитогорск, 2019.
5. Курзаева Л.В. Введение в инструментальные методы поддержки принятия решений [Электронный ресурс]: учебное пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2016. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. Назарова О.Б., Масленникова О.Е. Моделирование бизнес-процессов [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. [2-е изд., подгот. по печ. изд. 2015 г.]. Магнитогорск: МГТУ, 2017. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Сведения об авторах

Махмутова Марина Владимировна – канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: marmah63@mail.ru.

Гаврилова Ирина Викторовна – канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID 0000-0002-4283-5810. E-mail: i.gavrilova@magtu.ru

Масленников Никита Владимирович – студент 4 курса, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 004+376.3

АРХИТЕКТУРА КОНСТРУКТОРА ЛОГОПЕДИЧЕСКИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР

Гаврилова И.В., Каргин А.Д.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет, им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье рассматривается архитектура разрабатываемого конструктора логопедических компьютерных игр. Авторами выделены основные виды архитектурных шаблонов, обусловлен выбор клиент-серверной архитектуры, приводится модель архитектуры и её обоснование. Предлагается разделение конструктора на блок стратегий, блок мультимедийных ресурсов, блок организации обучения и блок запуска сеанса игры. Сделан вывод о целесообразности дальнейших исследований в области построения конструкторов компьютерных логопедических и обучающих игр.

Ключевые слова: архитектура приложения, компьютерные логопедические игры, компьютерные обучающие игры, конструктор компьютерных логопедических игр, ИКТ в логопедии, формы организации логопедических занятий.

В настоящее время логопеды в своей работе всё чаще наряду с традиционными дидактическими материалами занятий используют цифровые, подготовленные с помощью ИКТ. И, хотя наиболее популярными из-за простоты до сих пор являются компьютерные презентации, логопеды всё чаще склоняются к применению логопедических игр [4, 5]. До пандемии поиск доступных игр был затруднен, сейчас, благодаря необходимости организации дистанционной работы логопедов и дефектологов, а также наличию таких онлайн-конструкторов, как «Мерсибо» (mersibo.ru), выбор возрос многократно. Практически, нет темы или направления, которые остались бы неохваченными. Компьютерные логопедические игры способствуют улучшению координации движений и состоянию мелкой моторики, тренировке ориентирования в пространстве, коррекции речи, увеличению словарного запаса, тренировке высших психических функций, обучению ребенка пользованию компьютером.

В то же время набор сред для разработки подобных игр достаточно ограничен, поскольку авторам выгоднее предлагать уже готовые решения, среди которых можно выделить следующие группы: игры, созданные с помощью средств разработки презентаций; игры, созданные с помощью традиционных сред разработки, а также игры, созданные с помощью конструкторов логопедических игр.

Игры, созданные с помощью средств разработки презентаций (как правило, MS PowerPoint), подразумевают, что управлять процессом обучения, оценивать правильность выполнения заданий

и динамику развития ребенка будет логопед. Однако эта технология наиболее доступна для специалистов по работе с детьми.

Игры, созданные с помощью традиционных сред разработки, обычно поддерживают от одной до пяти игровых стратегий и строго ориентируются на возраст ребенка. Как правило, разрабатываются такие игры профессиональными программистами совместно с логопедами. Затраты высоки, и, следовательно, их пытаются окупить за счёт высокой стоимости готового продукта. Логопеду без навыков программирования эти технологии недоступны.

По этой причине наиболее интересны конструкторы логопедических компьютерных игр (КЛКИ), предоставляющие некоторый набор игровых стратегий и мультимедийных ресурсов с возможностью добавления новых материалов, из которых логопед собирает свою игру. Функционал конструкторов чаще всего доступен по подписке. Возможная сложность освоения компенсируется методическими материалами.

Анализ показывает, что пользователям наиболее удобен вариант веб-приложений, при котором не нужно ничего скачивать и устанавливать на ПК, или мобильных приложений [1, 2], которые могут работать и без подключения к Интернету. К сожалению, на текущий момент, мобильные приложения представляют собой программы без возможности персонализации.

Требованиям к КЛКИ посвящён ряд работ Н.Э. Куликовской (1), которая подробно рассматривает их с точки зрения практики применения в образовательном процессе. Работ, посвященных особенностям технологии разработки КЛКИ и их конструкторов, практически нет. В то же время раз-

работка компьютерных программ образовательного назначения является одной из наиболее трудоёмких задач, поэтому использование методологий разработки программного обеспечения необходимо. Сокращение трудовых, временных, и как следствие, финансовых затрат на разработку и последующее сопровождение возможно только при грамотном проектировании программных систем.

Архитектура программного обеспечения (приложения) – совокупность технологических решений по структуре системы, разделению её на функциональные составляющие, интерфейсах, особенностях настройки и т.д. Софтверная индустрия за время своего существования выделила четыре наиболее популярных подхода к построению архитектуры программных средств:

- многослойная архитектура;
- многоуровневая архитектура;
- сервис-ориентированная архитектура;
- микросервисная архитектура.

В рамках выделенных подходов, в свою очередь, выделяются архитектурные шаблоны, которые рекомендуется использовать при создании конкретного типа приложения. К наиболее популярным шаблонам относятся многоуровневый шаблон, клиент-серверный шаблон, ведущий-ведомый, каналы и фильтры, шаблон посредника, одноранговый шаблон, шина событий, модель-представление-контроллер, доска, интерпретатор и др. [7, 8].

С нашей точки зрения, КЛКИ должен иметь трёхслойную клиент-серверную архитектуру, состоящую из следующих блоков:

- блок стратегий, содержащий правила выполнения игры: данный блок развивается и дополняется разработчиком с учётом методических требований;

- блок мультимедийных ресурсов, включающий изображение и произношение слова с возможностью группировки по темам; ресурсы может добавлять логопед – для этого предусмотрен специальный мастер, позволяющий как загружать готовые изображения и звуки, так и создавать их самостоятельно (рис. 1);

- блок организации обучения, позволяющий сохранять динамику выполнения заданий отдельными учениками; данные по ученикам и группам вводит логопед, он же формирует допуск учеников к каждой игре комплекса;

- блок запуска сеанса игры, в котором хранится текущее состояние игры.



Рис. 1. Мастер загрузки мультимедиа ресурсов

Отталкиваясь от классической трёхзвенной архитектуры клиент-сервер, представленной на рис. 2, была разработана архитектура КЛКИ, представленная на рис. 3.



Рис. 2. Трёхуровневая архитектура клиент-сервер



Рис. 3. Трёхуровневая архитектура клиент-сервер КЛКИ

Клиентская часть КЛКИ представляет собой приложение, позволяющее логопеду создавать игры, группы обучаемых, запускать игру, а также получать отчёт о результатах её прохождения участниками. На сервере СУБД хранятся данные о прохождении игр, а также все мультимедийные ресурсы, используемые в конкретной игре. На промежуточном слое размещены блоки стратегий и организации обучения.

Безусловно, такая архитектура требует хорошей пропускной способности сети, однако позволяет формировать распределенную архитектуру, которую можно эффективно использовать в сетевых системах. Архитектура клиент-сервер используется, в том числе, при разработке мобильных приложений, что позволяет в дальнейшем перейти к разработке мобильной версии КЛКИ. Не вызывает сомнений тот факт, что развитие проекта внесёт коррективы в предложенную модель, позволит уйти от общего шаблона приложения к шаблону, подходящему для разработки класса конструкторов обучающих игр, включая логопедические компьютерные игры.

Список литературы

1. Бабчук А.Г., Гаврилова И.В. Концепция мобильного приложения «Артикуляционная гимнастика» // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сб. науч. ст. 9-й Международной научно-практической конференции. Курск, 2019. С. 19-21.
2. Бабчук А.Г., Гаврилова И.В. Разработка информационного обеспечения мобильного приложения «Артикуляционная гимнастика» // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Курск, 2020. С. 34-38.
3. Карманова Е.В., Георгиевских Н.В., Шагиева А.К. Разработка образовательных ресурсов для мобильных устройств под ОС ANDROID // Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты: материалы V Международной научно-практической конференции. 2016. С. 117-120.
4. Куликовская Н.Э. Условия построения компьютерных логопедических игр // Научные проблемы гуманитарных исследований. 2010. № 9. С. 96-103. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15216081>
5. Медведева Е.Ю., Силантьева А.А. Формирование лексической стороны речи у дошкольников с ОНР посредством использования компьютерных игр // Балтийский гуманитарный журнал. 2019. Т. 8. № 3 (28). С. 141-143. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41046416_54569833.pdf
6. Яковлева И.В. Возможности использования компьютерных технологий в обеспечении коррекционно-развивающего процесса в группах компенсирующей направленности (для детей с нарушениями речи ДОО) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1-5. С. 101-103. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25503045>
7. Mallawaarachchi V. 10 Common Software Architectural Patterns in a nutshell. Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/10-common-software-architectural-patterns-in-a-nutshell-a0b47a1e9013>
8. CrookJ. The Architecture of Open Source Applications. Режим доступа: <http://rus-linux.net/MyLDP/BOOKS/Architecture-Open-Source-Applications/index.html>

Сведения об авторе

Гаврилова Ирина Викторовна – канд. пед. наук, доцент, доцент каф. бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск. <https://orcid.org/0000-0002-4283-5810>. E-mail: i.gavrilova@magtu.ru

Каргин Андрей Дмитриевич – магистрант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 62-566(629.4)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ СЦЕПКИ И ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

Дудоров Е.А.¹, Котова К.А.²

¹АО «НПО «Андроидная техника», Москва

²ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Развернутая длина железнодорожных путей Российских железных дорог (РЖД) – 124 тыс. км. Общий парк локомотивов 20 тыс. единиц, вагонов более 1,2 млн шт. За оперативную маршрутизацию грузов отвечают 39 сортировочных станций, из них важнейших 26, осуществляющих ежедневный пропуск более 471 тыс. вагонов, из них 118 тыс. вагонов с переработкой.

Полная автоматизация внедрена на небольшом числе сортировочных станций. На части станций автоматизированная система управления (АСУ) составляет единое целое с комплексной автоматизированной системой управления сортировочным процессом. Большинство станций оборудуются отдельными системами и устройствами автоматизации.

Сегодня перед РЖД стоит основная задача – обеспечить ускорение перевозки грузов, сохраняя при этом управляемость технологическими процессами, а также заданный уровень безопасности. Решение этой задачи видится в автоматизации-роботизации технологических процессов, опирающейся на «цифровые двойники» инфраструктурных компонентов.

Автоматизация-роботизация процессов обработки составов и обслуживания механизмов сцепки и тормозной системы железнодорожного транспорта позволит обеспечить увеличение оборота подвижного состава, а также повышение перерабатывающей способности станций и маневровых объектов.

Целью работы является разработка системы управления манипулятором мобильного робота, а также позиционирования манипулятора при осуществлении операций обслуживания железнодорожных составов.

В рамках исследования изучен опыт разработки технических комплексов (РТК) и механизмов, а также систем автоматизации и управления операциями обслуживания механизмов сцепки в России, а также зарубежные разработки в области автоматизации-роботизации технологических процессов обслуживания железнодорожного транспорта.

Поставленные задачи исследования и разработки успешно выполнены, разработан образец робототехнического комплекса, который запущен в опытную эксплуатацию.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, манипулятор, мобильная платформа, роспуск состава, отпуск тормозов, система управления, контроллер.

Анализ технических решений автоматизации процесса расцепки

Среди действующих в настоящее время на территории Российской Федерации комплексов автоматизации представлены технические и программные средства, обеспечивающие: расчет переменной скорости роспуска, контроль роспуска отцепов, управление маршрутами движения отцепов и контроль хода роспуска, регулирование скоростей движения отцепов по всем тормозным позициям, контроль заполнения путей сортировочного парка, учет накопления вагонов в контролирующей зоне парка, автоматизацию корректировок роспуска и

оперативного управления маневровыми бригадами в парке, отображение хода роспуска и оперативно-технологических данных для эксплуатационного персонала, обмен информацией с АСУ и др [2].

Вместе с тем полная автоматизация роспуска внедрена на небольшом числе сортировочных станций. Большинство станций оборудуются отдельными системами и устройствами автоматизации.

Оптимизация обработки составов на перегонах и сортировочных горках, в том числе внедрение средств телемеханики и автоматизации процессов позволит существенно ускорить оборот подвижного состава.

В ходе исследования и разработки проведено изучение накопленного отечественного опыта разработки систем автоматизации сортировочных

операций. Рассмотрен опыт разработки систем для управления работой сортировочных станций направления железнодорожной сети с автоматизацией управления посредством автоматизированного рабочего места (АРМ), когда обнаружение следующих и стоящих на сортировке составов осуществляется посредством оборудования железнодорожного полотна датчиками подхода составов [3], систем комплексных систем автоматизации управления сортировочным процессом, оснащенных комплексом аппаратно-программного управления через сеть Ethernet, с выходом контроллера сбора информации, вход которого подключен к выходам исполнительных устройств, а также контроллером безопасности, при этом обнаружение следующих и стоящих на сортировке составов осуществляется посредством датчиков счета колесных осей [4].

Помимо комплексной автоматизации и систем управления сортировочным процессом также накоплен существенный опыт разработки непосредственно устройств и механизмов для обслуживания и осуществления операций расцепки и спуска тормозов.

Устройства автоматической расцепки грузовых вагонов на сортировочных горках, зарегистрированные в числе изобретений, отличаются повышением надежности, эффективности и производительности работы сортировочной горки. В представленных системах наряду с использованием видеообнаружения узлов расцепки используются расчеты количества осей, которые должна пройти каретка с манипулятором, чтобы манипулятор оказал напротив автосцепки вагона, подлежащего роспуску, а также скоростемеров на пути надвига составов [5, 6].

Изучение зарубежного опыта проведения исследований и разработок, направленных на автоматизацию операций обслуживания системы железнодорожного транспорта показывает высокий уровень заинтересованности отрасли в развитии вопросов автоматизации операций обслуживания механизмов железнодорожных составов, отслеживания и оповещения о прибывающих железнодорожных составах с применением датчиков и устройств обнаружения [7]. Также с 2017 года в рамках Программы исследований и инноваций Европейского союза-2020 развернута программа развития функциональных требований для поддержки железнодорожного транспорта, в которой основное внимание уделено анализу действующих систем сцепки и расцепки вагонов, автоматизации операций сцепки и расцепки железнодорожных составов, в том числе разработке и оптимизации имеющихся разработок механизмов и программно-аппаратной части комплексов автоматизации [8, 9].

В 2020 году в рамках Программы Европейской цифровой автоматизации железнодорожного транспорта подписан Меморандум, со сроком реализации до 2030 года, по внедрению автоматизации и цифровизации операций сцепки и расцепки железнодорожных составов, содержащий план развития автоматизации операций обслуживания системы железнодорожного транспорта [10].

Развитие автоматизации операций обслуживания системы железнодорожного транспорта также активно поддерживается Европейским научным сообществом. В июне 2020 года Берлинским технологическим институтом в интересах и при поддержке Министерства транспорта и цифровой инфраструктуры разработан и опубликован технический отчет по развитию автоматизации операций сцепки и расцепки железнодорожных составов на сети железных дорог Европейского союза, в котором проведен подробный анализ действующих принципов и систем автоматизации, вопросов стандартизации, а также концепций развития механизмов, технических средств и систем управления [11, 12].

К 2021 году в рамках партнерства Европейского союза Shift2Rail по координации исследований и развитию инноваций в сфере железнодорожного транспорта автоматизация операций сцепки и расцепки железнодорожных составов признана одним из ключевых направлений развития. Сейчас указанные операции являются наиболее опасными для обслуживающего персонала, и автоматизация позволит сделать процесс сцепки и роспуска вагонов более безопасным. Европейские компании-производители технических устройств, механизмов и систем железнодорожного транспорта в рамках партнерской программы разрабатывают и предлагают технические устройства, направленные на решение указанных задач автоматизации [13–15].

В Соединенных Штатах Америки с середины 20 века также уделяется большое внимание изучению возможностей автоматизации операций обслуживания системы железнодорожного транспорта, преимущественно механизмов сцепки и роспуска вагонов грузовых составов. В отчете по оптимизации механизмов сцепки и роспуска вагонов грузовых составов, а также исследованию и оценке концепций развития, выпущенном в 1978 году при поддержке и в интересах Отдела исследования и развития Федерального управления дорог Департамента транспорта, проведен анализ действующих систем. Отчетом отмечено, что ни одна из рассмотренных на момент исследования и анализа систем не содержит достаточных степеней технологичности для усовершенствования и внедрения автоматизации [16].

Помимо Соединенных Штатов Америки и стран Европейского союза, исследования и разработки по автоматизации операций сцепки и роспуска вагонов подвижных составов активно проводятся в Китае и Индии.

Китайскими учеными проведено исследование по разработке роботизированной системы роспуска вагонов грузовых составов, оснащенной манипулятором с 4-мя степенями подвижности. Для обеспечения заявленной точности проведены расчеты и математическое моделирование работы манипулятора с учетом контура управления системы при выполнении операций роспуска и поиск возможностей компенсации ошибок позиционирования. Результаты анализа ошибок позиционирования манипулятора дали основу для разработки усовершенствованной конструкции манипулятора [17].

Помимо результатов исследований научного сообщества и отрасли железнодорожного транспорта, также изучены зарегистрированные технические решения по автоматизации операций и механизмов роспуска вагонов железнодорожного транспорта.

В числе изобретений по автоматизации операций обслуживания системы железнодорожного транспорта рассмотрена система и способ управления транспортом железных дорог, предлагающая концепцию управления операциями формирования и расформирования составов с использованием беспроводной связи [18].

Среди изобретений, с применением манипулятора, была рассмотрена автоматизированная система роспуска вагонов, снижающая вероятность травм. Система оснащена программным обеспечением и включает в себя модуль обнаружения объекта, состоящий из робота, имеющего шарнирно-сочлененную роботизированную руку, программируемого логического контроллера (ПЛК), камеры и датчика. Представленная автоматизированная система обнаруживает и определяет местонахождение актуатора стопорного штифта, связанного с муфтой. После подтверждения местоположения привода манипулятор перемещает актуатор, тем самым отсоединяя вагоны состава [19].

В числе изобретений, зарегистрированных по результатам макетирования, изучен механизм дистанционного роспуска вагонов, предназначенный для использования с механизмом приема сигнала и самоцентрирующимся устройством сцепки. Механизм удаленного разъединителя включает в себя привод электродвигателя, который приводится в действие механизмом приема сигнала, и соединитель, который проходит между приводом и соединителем для переключения соединителя между его положением. Источник питания предусмотрен

для механизма удаленного разъединителя, который может быть установлен на борту подвижного состава или может включать в себя приемный механизм для приема электроэнергии с рельсов, находящихся под напряжением, в макете модели железной дороги [20].

Рассмотренные зарубежные механические устройства для автоматического выполнения задач расцепки вагонов подвижных составов железнодорожного транспорта для повышения производительности и безопасности оснащены сенсорными системами для предоставления необходимых данных для управления механическими частями. Также они оснащены различными датчиками и системами программного обеспечения. Помимо основных задач, рассмотренные системы дают возможность обнаружения муфт, проверки их состояния и оценки их положения. Кроме того, они предоставляют информацию о скорости поезда с высокой точностью. Сигналы датчиков преобразуются, чтобы сформировать одно полное представление о положении муфты и ее скорости. Для объединения показателей датчиков применяются методы математического моделирования и анализа, что обеспечивает высокую точность при обработке данных с датчиков и при выдаче управляющих сигналов систем управления [21-25].

Робототехнический комплекс для расцепки вагонов

В настоящем исследовании описано создание инфраструктуры для организации «безлюдного» технологического процесса на железнодорожной станции посредством перехода к применению РТК. Работа по созданию макета РТК выполнена АО «НПО «Андроидная техника» совместно и по запросу АО «НИИАС» в интересах ОАО «РЖД». Разработка нацелена на реализацию программы развития инфраструктуры Российских железных дорог и программу импортозамещения.

РТК состоит из базовой станции (БС), мобильной платформы (МП) и исполнительного механизма (манипуляционный робот, МР).

Манипулятор в составе мобильной платформы перемещается по несущей конструкции вдоль железнодорожного состава. При достижении платформой местоположения механизмов сцепки (если устройство применяется на сортировочной горке) манипулятор позиционируется и воздействует на механизм сцепки для «роспуска состава». При достижении платформой тормозной системы (если устройство применяется на станции) манипулятор позиционируется и воздействует на выпускной клапан воздухораспределителя для «отпуска тормозов». После выполнения операции производится автоматизированный контроль вы-

полнения операции. Общий вид мобильной платформы с манипулятором приведен на рис. 1.

Система управления робототехнического комплекса для расцепки вагонов

БС находится в парковочном положении до момента назначения команды. После получения команды к расцепке начинается сканирование состава и поиск конкретного узла автосцепки. В автоматическом режиме происходит вычисление расстояния и скорости состава. Далее формируется управляющий сигнал для направления БС до определенного узла и последующей расцепки.

В момент достижения БС назначенного узла автосцепки происходит его синхронизация по скорости состава и начинается операция расцепки вагонов.

МР из парковочного положения переходит в рабочее путем введения исполнительного устройства в зону между вагонами, где расположена сцепка. Далее средствами технического зрения определяют положение элементов сцепки, затем МР осуществляет воздействие на элементы сцепки одним из возможных способов её открытия (воздействие на рычаг, на валик или на цепь валика). После формирования подтверждающего сиг-

нала об успешной расцепке (визуальное изображение появившегося флажка из кулака автосцепки) МР начинает возвращать в рабочие положения узлы сцепки (рычаг сцепки, цепь или валик). Если флажок не появился, а все манипуляции были осуществлены, то выполняют операцию повторно, но не более трех попыток. Если не удалось осуществить воздействие на узлы сцепки, то МР возвращается в парковочное положение и формируется сигнал на пульт управления о неудачной расцепке.

Входные и выходные данные системы управления отображены на схеме, представленной на рис. 2.

Команды на перемещение МП поступают от СУ. МП с манипуляционным роботом (МР) перемещается по несущей конструкции вдоль железнодорожного состава. МТЗ распознает воздухо-распределитель/механизм сцепки и передает координаты распознанного объекта (с временными отметками) в реальном времени в СУ. СУ на основании координат, полученных от МТЗ и команд, поступающих от модуля безопасности (МБ), определяет положение объекта и формирует управляющие команды.

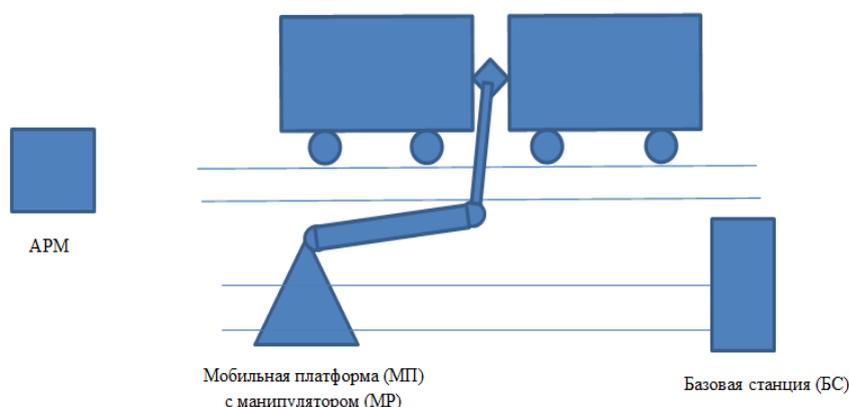


Рис. 1. Манипулятор мобильной платформы при выполнении операций

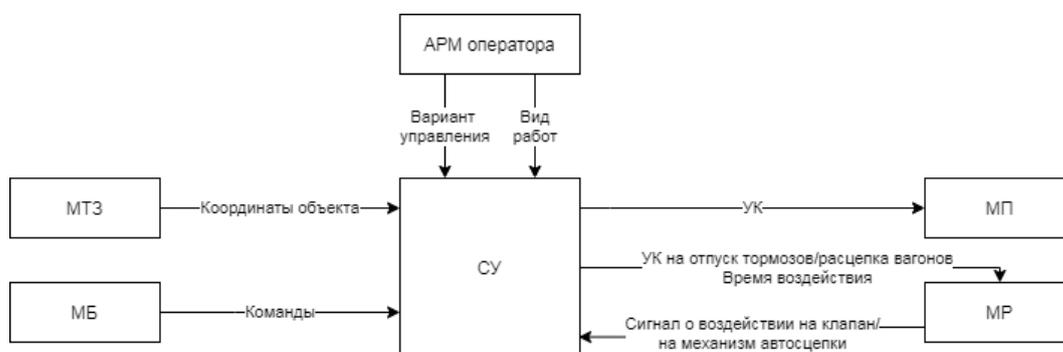


Рис. 2. Входные и выходные данные

Если выбрана операция «отпуск тормозов», то МР воздействует на выпускной клапан воздухораспределителя в течение времени, заданного СУ для выполнения операции «отпуск тормозов». МР формирует обратный сигнал, подтверждающий факт воздействия на клапан воздухораспределителя.

Если выбрана операция «ропуск состава на сортировочной горке», то МР вращательным движением воздействует на механизм сцепки для ропуска вагонов. МР формирует обратный сигнал, подтверждающий факт воздействия на механизм сцепки.

По завершении работы МП возвращается на базовую станцию для хранения и подзарядки.

Центральный модуль управления РТК с автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора РТК предназначен для диагностики РТК, настройки РТК, просмотра параметров работы РТК, просмотра видеоизображения с МТЗ, управления ручным режимом выполнения операции отпуща тормозов, формирования команды на начало выполнения операций отпуща тормозов и расцепки состава.

Система управления МП предназначена для выполнения заложенных алгоритмов управления

на основе входных данных от МП, МБ, МР и др. для формирования управляющих воздействий на МП и МР. Структурная схема СУ МП и МР представлена на рис. 3.

Для реализации движения звеньев МР был выбран тип исполнения двигателей бесколлекторных с постоянными магнитами, которые имеют высокий момент на валу и зарекомендовали себя в различных экстремальных условиях эксплуатации, в т.ч. при работе в космосе [26-28].

Контроллеры управления двигателями представляют собой высокотехнологичное устройство, выполняющее управление в соответствии с поступающими в него сигналами как от самого двигателя (от датчиков Холла), так и от внешней системы (управление заданием). Контроллер способен управлять оборотами ротора, его моментом, производить разгон и торможение вала на необходимое число оборотов, контролировать ток и температуру обмоток, напряжение питающей сети, получать данные от внешних энкодеров, работать по нескольким информационным интерфейсам, выдавать на управляющее устройство диагностику состояния системы в целом.

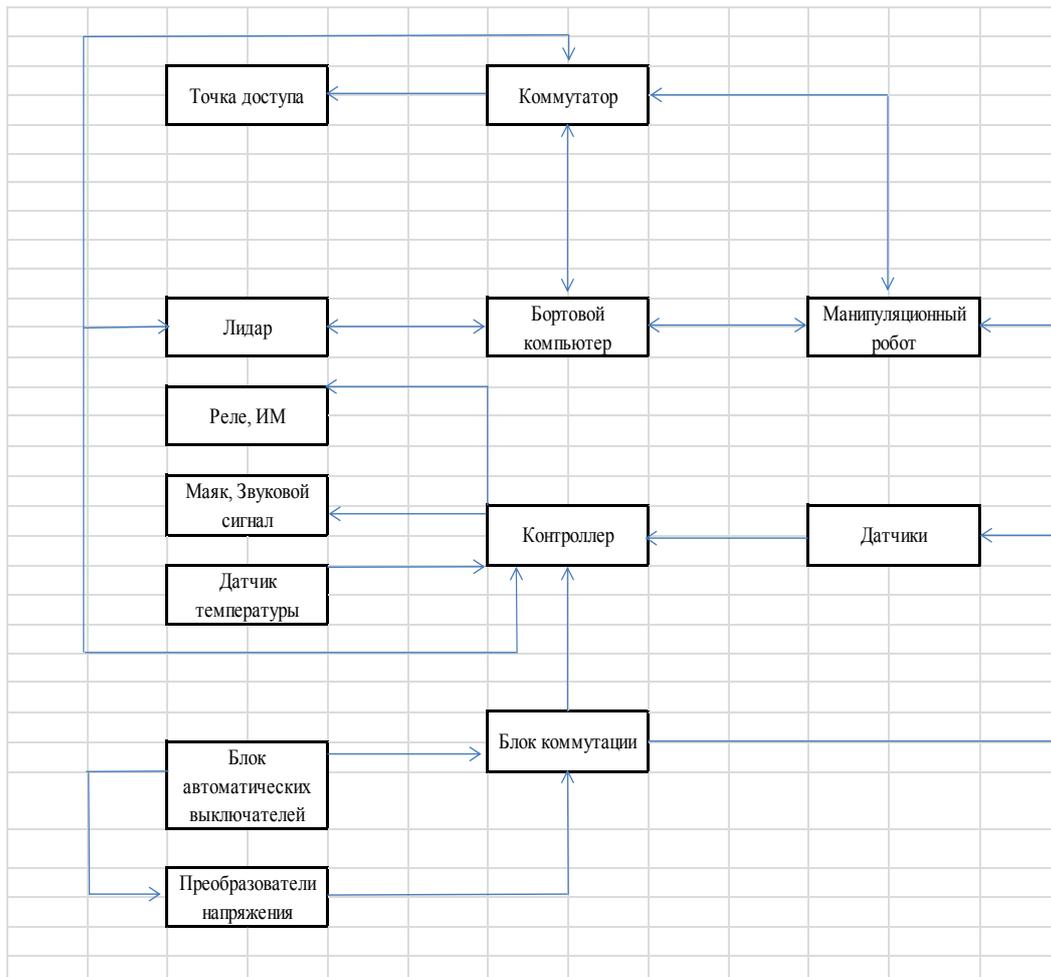


Рис. 3. Структурная схема СУ МП

В рамках системы управления реализовано несколько цифровых сетей и сетевых протоколов, сеть RS-485, с использованием протоколов ModBus-RTU (скорость данных до 1 Мбит/с), Profibus (скорость данных до 12 Мбит/с), которые отличаются простотой работы с пакетами данных, Ethernet, с использованием протоколов Profinet, EtherCAT, TCP/IP и др.

Контроллер системы управления двигателем узла МР при работе учитывает не только данные с датчиков Холл двигателя, но и внешних датчиков, отслеживающих линейное или угловое положение исполнительного механизма по энкодеру, установленному в шарнире. Оптимальными с точки зрения компактности и обеспечения необходимой точности движения шарниров МР признаны и использованы при создании образца РТК магнитные энкодеры с плоским кольцом.

Программное обеспечение эксплуатируется на персональном компьютере (ПК) типа IBM, со следующими минимальными характеристиками:

- операционная система: Windows IoT или Embedded;
- процессор (CPU): Intel Core i5-7400 / AMD Ryzen 5 1500 X и более;
- оперативная память (RAM): 4 ГБ и более;
- видеоадаптер серии: GTX 970 (4 ГБ) и более;
- сетевая карта: 1000 Мбит/с;
- Ethernet порт – 2 шт.

Разработанный макет РТК, основываясь на данных, получаемых от постов автоматизированного приема и диагностики подвижного состава (разработанного АО «НИИАС»), в будущем основываясь на технологии «цифровых двойников», сможет осуществлять обслуживание подвижного состава и диагностику элементов только тех элементов вагонов, которые этого требуют. Таким образом, за счёт применения «безлюдных» технологий будет сформирован переход к обслуживанию не по сроку, а по необходимости.

Заключение

В рамках работы была выполнена реализация следующих задач: разработка конструкторских решений, алгоритмов и реализация телеуправления движением мобильной платформы и манипулятора робототехнического комплекса, разработка алгоритмов технического зрения и передачи данных.

При разработке были учтены достижения в автоматизации систем управления операциями обслуживания системы железнодорожного транспорта зарубежных разработчиков. Также были усовершенствованы имеющиеся технические решения, в том числе разработан и реализован мо-

дуль технического зрения, обеспечивающий распознавание элементов вагона, распознавание механизма сцепки и рычага тормоза.

В продолжение исследования на основе разработанной кинематической схемы целесообразно провести анализ точности позиционирования движения манипулятора инструментами математического моделирования, с выработкой алгоритмов компенсации ошибок позиционирования, а также усовершенствования заложенных алгоритмов управления на основе входных данных от модуля технического зрения (МТЗ), модуля безопасности, манипуляционного робота и других для формирования управляющих воздействий на манипуляционного робота, мобильную платформу.

Внедрение РТК и технологий их применения позволит оптимизировать работу горочных локомотивов за счет обмена данными между роботом и системой управления беспилотными локомотивами, в перспективе возможно ускорение скорости надвига вагонов на сортировочную горку с 20 до 35 км/ч. Использование средств роботизации позволит убрать человека из опасной зоны и полностью исключить влияние человеческого фактора на выполнение технологического процесса, тем самым снизив количество травм и ошибочных ролпусков вагонов.

В настоящее время можно с уверенностью сказать, что комплексная реализация исследуемых задач позволит РЖД перейти границу из Индустрии 3.0 в Индустрию 4.0, обеспечив сквозной роботизированный технологический процесс.

Список литературы

1. Сортировочные устройства: учебное пособие по дисциплине «Железнодорожные станции и узлы» / А.А. Климов, С.В. Карасев, Д.В. Осипов, А.А. Карасева. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2010. 170 с.
2. Шелухин В.И. Автоматизация и механизация сортировочных горок: учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. М.: Маршрут, 2005. 240 с.
3. Система для управления работой сортировочных станций направления железнодорожной сети: пат. RU2500558C1; МПК В61В1/00 / Иванов М.Т., Лизунов А.И., Малышев И.В., Малышев В.И., Морозов В.А., Шевцов Б.В.; опубл. 14.06.2012.
4. Комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП): пат. RU2737815 C1; МПК В61В1/00 В61L17/00 / Даньшин А.И., Золотарев Ю.Ф., Одиладзе В.Р., Рогов С.А., Родионов Д.В., Сапков И.Г., Сачко В.И., Соколов В.Н., Шабельников А.Н.; опубл. 03.12.2020.
5. Система авторасцепки вагонов на сортировочной горке: изобретение №219.016.C2A1, охран. докум. № 0002450946 / Свердлов В.Б., Акмалов С.Г., Иргер Г.Ю.
6. Устройство авторасцепки грузовых вагонов: изобретение №219.017.4D8A, охран. докум. №

- 0002379206 / Ирреп Г.Ю., Костроуцов В.Б., Перева-
лов Д.С., Свердлов В.Б.
7. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 159 – No 8, February 2017 30, Automatic Railway System.
 8. Development of Functional Requirements for Sustainable and Attractive European Rail Freight D5.1 – State of the Art on Automatic Couplers, Actual submission date: 03/03/2017.
 9. Development of Functional Requirements for Sustainable and Attractive European Rail Freight D5.5 – CBA for Automatic Couplers, Submission date: 06/03/2019.
 10. European Digital Automatic Coupling Delivery Programme, 29/07/2020. Memorandum of Understanding between European Railways and Rolling Stock Keepers for the European Digital Automatic Coupling (DAC) for rail freight.
 11. Development of a concept for the EU-wide migration to a digital automatic coupling system (DAC) for rail freight transportation, Berlin University of Technology, Berlin, 29 June 2020.
 12. Automated handling of a screw coupling of freight wagons. Christoph Zellner; Burkhard Stadlmann; Martin Egger; Mathias Hattinger; Frank Michelberger; Jürgen Zajicek, April 16, 2018.
 13. Digital Automatic Couplers: Dellner's solution to coupling automation, 21 April 2021, Global railway review.
 14. Uncoupling Robot for the automatic marshalling yard. Project: Automated handling of a screw coupling of freight wagons, UIBRICH, 24/09/2018.
 15. Rail automation systems for mass transit from Siemens, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:aaf35300-277c-4c3a-8deb-6eb658364e69/sie-br-mass-transit-rail-automation.pdf>.
 16. Coupling system design optimization. A survey and assessment of automatic coupling concepts for rail freight cars, May 1978.
 17. Position and orientation error analysis and its compensation for a wheeled train uncoupling robot with four degrees-of-freedom. Jianjun Yao Shuang Gao Guilin Jiang Thomas L. Hill Han Yu Rui Xiao Shuo Chen. First published: 01 March 2015, The Institution of Engineering and Technology.
 18. EP1369332B1 Automated system and method for manipulation of vehicles in a railway system. European Patent Office, Inventor Linda F. Clawson, Michael Cross, John T. Degrave, Chad Emahizer, Kenneth A. Karg, Gary S. Krut, William Ruhe.
 19. Automated decoupler for rail cars, United States Patent 5531337. Inventors: Cappelletti, Joseph (Sudbury, CA), Zakaria, Samir (Sudbury, CA).
 20. Remote uncoupling mechanism. US5775524A United States, Inventor Michael Nathan Dunham.
 21. Electrical contact coupling for automatic central couplings or central buffer couplings for rail vehicles, CN1247403C China, Inventor 约翰·萨利文.
 22. Automatic coupling of locomotive to railcars, US20030182030A1 United States, Inventor Mark Kraeling, David Teeter, David Kornick.
 23. Adaptor device for coupling railway vehicles having different types of couplers, US4102459A United States, Inventor Axel Schelle, Kuno Nell.
 24. Device for uncoupling rail vehicles, DE19621651A1 Germany, Inventor Joseph Cappelletti, Samir Zakaria.
 25. Uncoupling device for rotary couplers on freight cars, US3937330A United States, Inventor Leonard A. McLean.
 26. Подготовка и проведение космического эксперимента с применением антропоморфного робота «Федор» / А.Ф. Пермяков, Е.А. Дудоров, И.Г. Сохин, А.А. Шпонько // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер. Технические науки. 2020. № 3 (207). С. 64-72.
 27. Bogdanov A., Dudorov E., Permyakov A., Pronin A., Kutlubaev I. Control system of a manipulator of the anthropomorphic robot FEDOR // Proceedings - International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE. 12th International Conference on the Developments in eSystems Engineering, DeSE 2019. 2019. С. 449-453.
 28. Исследование возможности использования дистанционно-управляемого антропоморфного робота в условиях космического полета / И.М. Кутлубаев, А.А. Богданов, Е.А. Дудоров, А.Ф. Пермяков, А.А. Пронин // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / под науч. ред. В.А. Углева. 2019. С. 88-93.

Сведения об авторах

Дудоров Евгений Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры МиТОДиМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск; лауреат премии РФ в области науки и техники, исполнительный директор АО «Научно-производственное объединение «Андроидная техника», г. Москва. E-mail: dudorov@npo-at.com.

Котова Ксения Александровна – магистрант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Носова», г. Магнитогорск; главный специалист по защите государственной тайны и лицензированию, представитель руководства по системе менеджмента качества АО «Научно-производственное объединение «Андроидная техника», г. Москва. E-mail: kseniya.kotova@npo-at.com.

УДК [621.314.26+621.316.94+621.317.757]:621.311.1

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЧЕТЫРЕХКЛЕТЬЕВОГО СТАНА ППП ХП ЧерМК ПАО «СЕВЕРСТАЛЬ» С ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ 10 КВ

Николаев А.А., Гилемов И.Г., Буланов М.В., Афанасьев М.Ю., Шахбиева К.А., Лаптова В.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В данной работе исследован способ обеспечения электромагнитной совместимости преобразователей частоты с активными выпрямителями ASC6000 в составе главных электроприводов четырехклетьевого стана с распределительной сетью 10 кВ системы внутривозовского электроснабжения ЧерМК ПАО «Северсталь». Сущность применяемого способа заключалась в использовании усовершенствованных алгоритмов ШИМ для активных выпрямителей преобразователей частоты ACS6000, обеспечивающих изменение гармонического состава потребляемых токов ПЧ с АВ с исключением гармоник, попадающих в зону резонансов в частотной характеристике сети относительно секций РУ-10 кВ ГПП-2. Теоретические исследования проводились на комплексной математической модели главных электроприводов стана и внутривозовской распределительной сети 10 кВ, реализованной в математическом пакете Matlab-Simulink. Анализ результатов исследований показал эффективность предложенного способа с точки зрения снижения суммарного коэффициента гармонических искажений на секциях главной понизительной подстанции предприятия, являющихся внутривозовскими точками общего присоединения.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, широтно-импульсная модуляция, преобразователь частоты, активный выпрямитель, качество электроэнергии.

Введение

За последние десять лет в составе мощных электроприводов станов горячей и холодной прокатки стали применяться многоуровневые преобразователи частоты с активными выпрямителями (ПЧ с АВ) [1-6], которые обладают рядом существенных преимуществ перед традиционными ПЧ с диодными и тиристорными выпрямителями, а именно: 1) возможность рекуперации энергии в питающую сеть в тормозных режимах электропривода; 2) возможность поддержания единичного коэффициента мощности на входе силовых преобразователей; 3) улучшение гармонического состава потребляемого тока в диапазоне низких и средних частот за счет применения модифицированных алгоритмов ШИМ с удалением или подавлением выделенных гармоник (алгоритмы Selective Harmonic Elimination PWM и Selective Harmonic Mitigation PWM) [7-9].

Однако, как показал практический опыт эксплуатации на отечественных и зарубежных металлургических предприятиях, современные многоуровневые ПЧ с АВ также обладают существенными недостатками [10-13], такими как: 1) высокая вероятность сильного ухудшения качества напряжения во внутривозовской распределительной электрической сети 6-35 кВ из-за наложе-

ния высокочастотных гармоник входного напряжения и тока АВ на резонансные области частотной характеристики питающей сети; 2) высокая чувствительность ПЧ с АВ к провалам и несимметрии напряжения со стороны питающей сети.

В соответствии с этим на ряде металлургических предприятиях России, например, на АО «Металлургический Завод Балаково» (бывший АО «Северсталь – Сортовой завод Балаково») и ООО «Абинский электрометаллургический завод», из-за сильных искажений напряжения в распределительной сети 10 кВ наблюдались проблемы с функционированием электрооборудования, а также выходы из строя преобразователей частоты, функционирующих параллельно мощным источникам гармоник высокого порядка – ПЧ с АВ в составе главных электроприводов прокатных станов.

Решением проблемы электромагнитной совместимости мощных ПЧ с АВ в первом случае стала установка УКРМ со специальной конфигурацией, обеспечивающего коррекцию частотной характеристики сети со сдвигом резонансной области в безопасный частотный диапазон [14], во втором случае – отключение ШИМ у активных выпрямителей с переводом преобразователя в диодный режим и установкой дополнительных блоков торможения в звено постоянного тока каждого преобразователя частоты [15].

Схожая проблема, связанная с электромагнитной совместимостью мощных ПЧ с АВ и распре-

делительной внутриводской сетью среднего напряжения, возникла также на ЧерМК ПАО «Северсталь», где после реконструкции четырехклетьевого стана холодной прокатки были введены в работу 5 мощных электроприводов клетей и натяжной моталки, построенные на базе трехуровневых ПЧ с АВ серии ACS6000 и синхронных двигателей. После ввода в эксплуатацию данных электроприводов у группы чувствительных электроприемников, получающих питание от сети 10 кВ района ГПП-2, начали происходить аварийные отключения и ухудшения режимов работы. В частности, имели место аварийные отключения мощных источников бесперебойного питания (ИБП) системы питания контроллеров серверов АНГЦ (ошибки по выпадению преобразователей ИБП из синхронизма). Помимо этого, было отмечено повышение потребления тока на 15-20% у систем электрического освещения цехов. Также были зафиксированы случаи выхода из строя конденсаторов защитных RC цепей выпрямительных устройств, выходы из строя кабельных линий 10 кВ и конденсаторных батарей УКРМ.

На основании вышеизложенного возникла необходимость в проведении детальных исследований резонансных явлений в электрической сети 10 кВ района ГПП2, а также влияния режимов работы мощных электроприводов четырехклетьевого стана на базе ПЧ с АВ на гармонический состав напряжения на общих секциях 10 кВ главной понизительной подстанции предприятия. На основании выполненных исследований был предложен способ улучшения ЭМС ПЧ с АВ ACS6000 за

счёт применения усовершенствованных алгоритмов ШИМ АВ.

Экспериментальные исследования качества электроэнергии

На первом этапе были проведены экспериментальные исследования качества напряжения в различных точках распределительной сети 10 кВ, а именно на секциях РУ-10 кВ ГПП-2 и РП-19. Установленные на четырехклетьевом стане ППП ХП ЧерМК ПАО «Северсталь» ПЧ фирмы АВВ ACS6000, получают питание с секции РП-19. При этом реализованы два различных схмотехнических решения: электропривод клетки №1 и моталки выполнен по 6-пульсной схеме, а клетей №2-4 – по 12-пульсной. Преобразователи частоты клетей №1 и 3 получают питание с 1-й секции РП-19, клетей №2, 4 и моталки – со 2-й секции (рис. 1). Секция 1 РП-19 запитана от 2-й секции ГПП-2 (фидер 1) через токоограничивающий реактор. Секция 2 РП-19 получает питание от 1-й секции ГПП-2 (фидер 21) также через токоограничивающий реактор.

Для записи мгновенных значений напряжений и токов на секциях РУ-10 кВ использовались измерительные комплексы на базе двух быстродействующих многоканальных регистраторов электрических сигналов. Регистраторы были подключены к измерительным цепям трансформаторов напряжения и токов вводных фидеров 1 и 2 секций РП-19 (фидеры 4, 7) и ГПП-2 (фидеры 19 и 13). Запись осциллограмм осуществлялась с высокой частотой дискретизации 300 кГц на один канал.

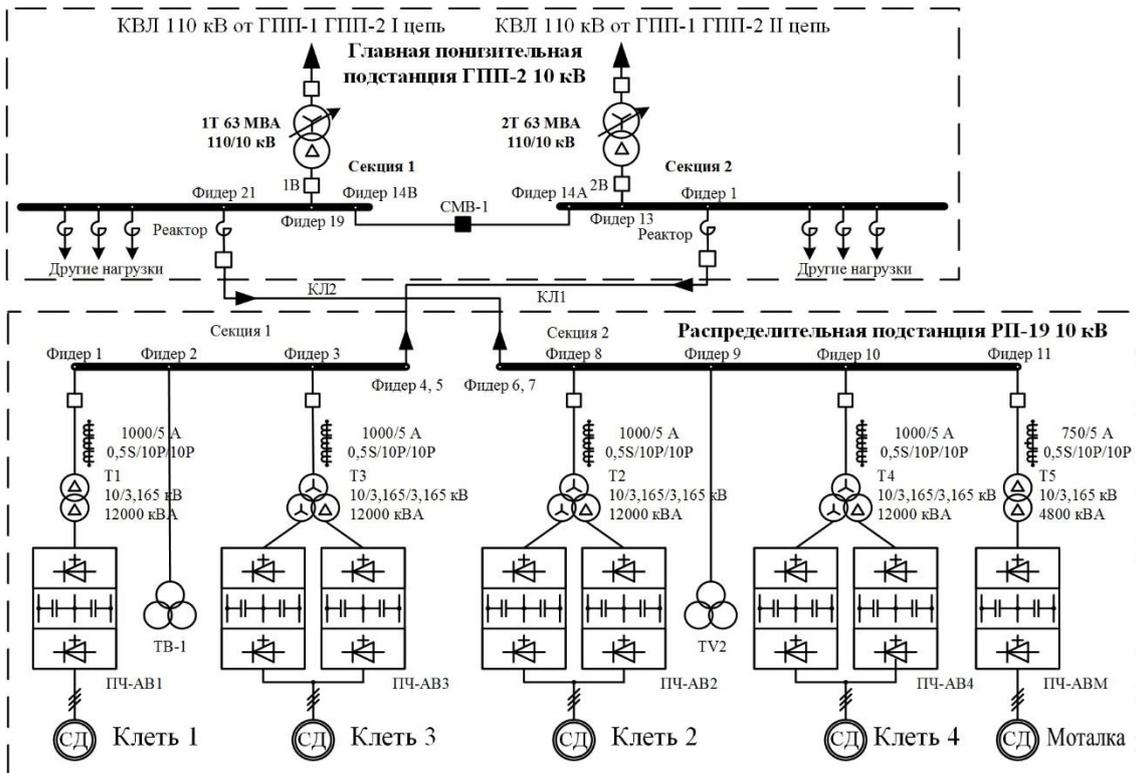


Рис. 1. Однолинейная схема распределительной подстанции РП-19, питающей главные ЭП с ПЧ прокатного стана

На рис. 2 представлены измеренные мгновенные значения линейных напряжений на секциях 1 и 2 ГПП-2 и РП-19 и их гармонический состав при работе клетей стана. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения на секции 1 ГПП-2 THDU при раздельном режиме работы секций 1 и 2 ГПП-2 составляет 4,9 %. Значимой гармоникой с амплитудой выше 4 % относительно первой гармоники является 23-я гармо-

ника. Напряжение на секции 2 ГПП-2 при аналогичном режиме работы искажено сильнее, K_U составляет 5,71 %. При этом значимыми гармониками являются 23 и 37. Необходимо отметить, что данный уровень искажений на секциях 1 и 2 РУ-10 кВ ГПП-2, являющихся внутривзаводскими точками общего присоединения, является недопустимым с точки зрения надежной работы чувствительных электроприёмников.

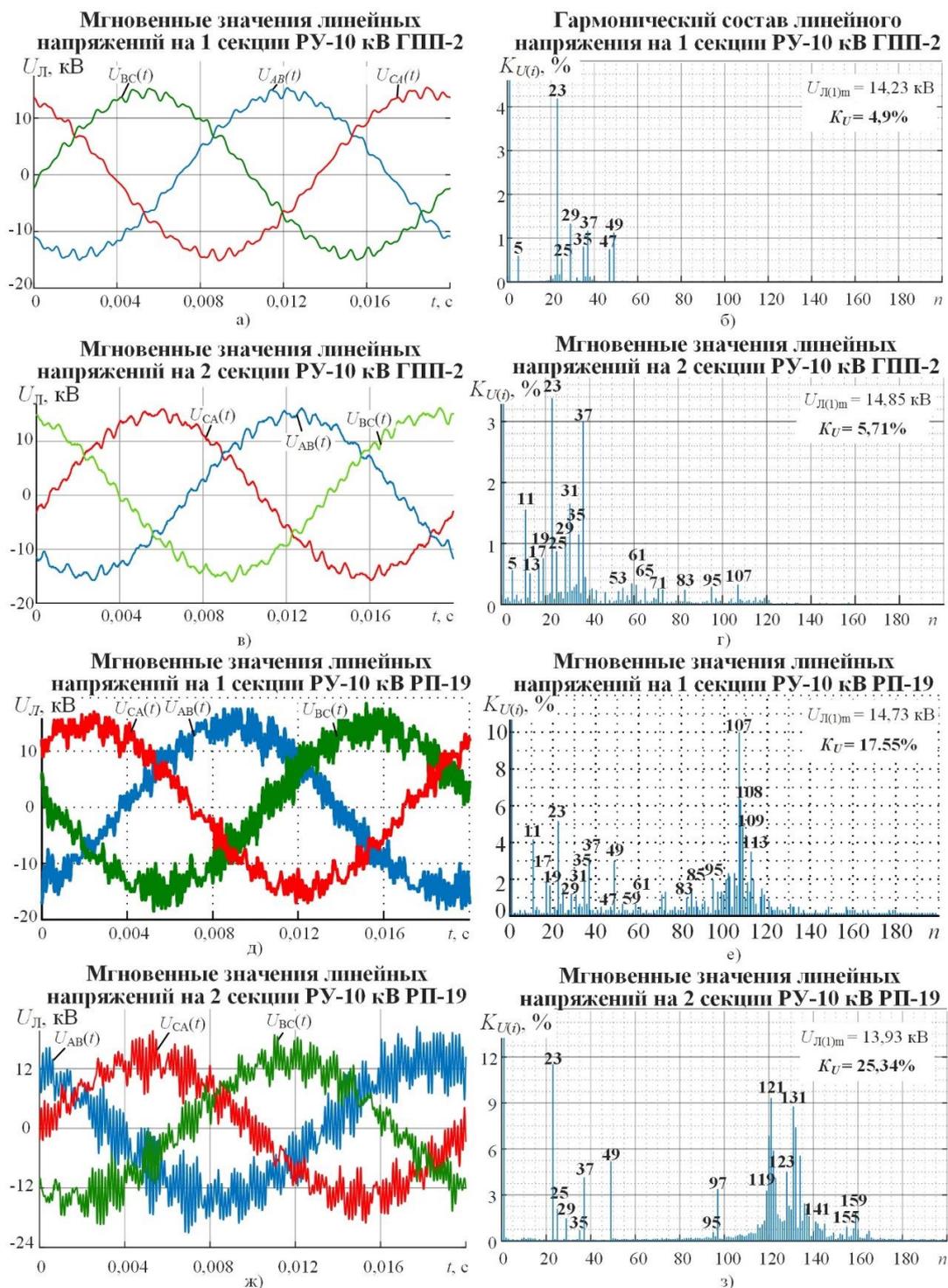


Рис. 2. Измеренные мгновенные значения и гармонический состав напряжения на шинах РУ-10 кВ

Как видно из рис. 2, д,е, при работе ПЧ с АВ под нагрузкой на секции 1 РУ-10 кВ РП-19 наблюдается сильное искажение линейных напряжений. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U превышает 17%. Доминирующими гармониками с амплитудой выше 4% относительной первой гармоники являются: 11, 23, 107, 109, (см. рис. 2, е). Гармонический состав напряжения на 2-й секции РП-19 отличается в худшую сторону по сравнению с качеством напряжения на 1-й секции. Как видно из рис. 2, ж, з, значение K_U составляет 25,34 %. Помимо значимой 23-й гармоники, гармонические составляющие напряжения высокого порядка, имеющие максимальную амплитуду, смещены вправо по шкале частот: $n = 121, 131, 133, 135$, что обусловлено смещением зоны резонанса в частотной характеристике в точке подключения электроприводов к 2-й секции РУ-10 кВ РП-19 4550 - 6550 Гц (91-я – 131-я гармоники) на 5450 – 7150 (109-я – 143-я гармоники) (см. далее).

Как показали исследования, сильные искажения напряжения обусловлены взаимным влиянием ёмкостей кабельных линий и индуктивностей токоограничивающих реакторов на секциях ГПП2. Для проведения углубленного анализа резонансных явлений и их влияния на гармонический состав напряжения в распределительной сети при различных режимах работы главных электроприводов четырехклетьевого стана, а также различных режимах электроснабжения была разработана математическая модель распределительной сети 10 кВ района ГПП-2 с учётом параметров питающей сети 110 кВ, параметров сетевых трансформаторов 110/10 кВ, параметров всех кабельных линий 10 кВ от ГПП-2, параметров электроприводов стана, параметров электроприёмников других цеховых РП и подстанций. На основании разработанной математической модели сети 10 кВ района ГПП2 получены расчетные частотные характеристики сети, рис. 3.

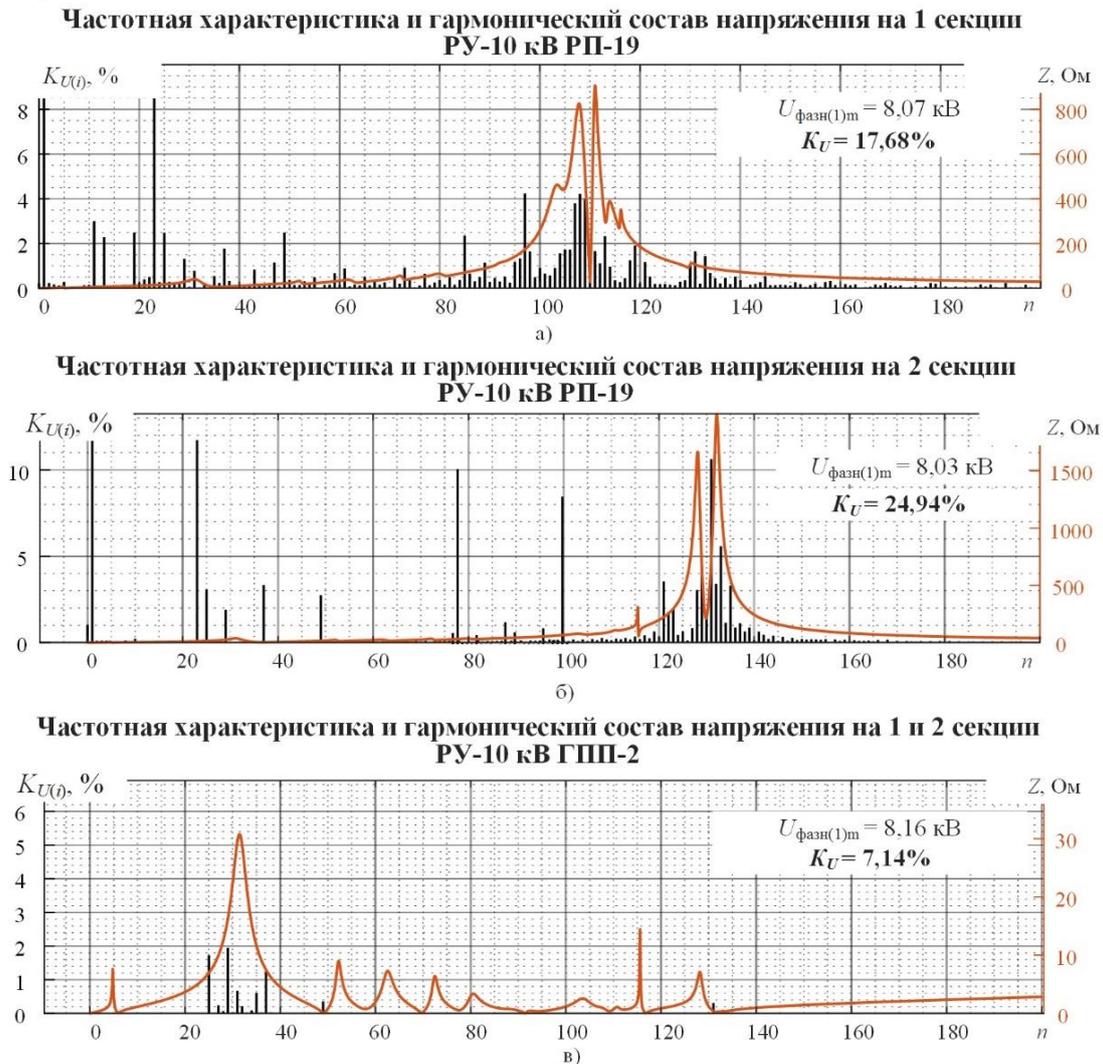


Рис. 3. Соотношение между частотной характеристикой и гармоническим составом напряжения на шинах РУ-10 кВ РП-19 и ГПП-2

Из-за использования токоограничивающих реакторов в ячейках РУ-10 кВ ГПП-2 с индуктивными сопротивлениями $X_{P.ФАЗ} = 0,29-0,35$ Ом в частотных характеристиках относительно секций 1 и 2 ГПП-2 помимо основных резонансов в районе $f_{РЕЗ} = 1450-2100$ Гц присутствуют множественные резонансы, образованные взаимным влиянием токоограничивающих реакторов и суммарными емкостями кабелей отдельных фидеров ГПП-2. Так, при совместной работе 1-2-й секций ГПП-2 с питанием от 1Т или 2Т присутствуют дополнительные резонансы с частотами в районе: 2650, 3150, 3650, 4050, 5150, 5750, 6350 Гц (рис. 3, в). Необходимо отметить, что амплитуды дополнительных резонансов в 2-10 раз ниже, чем у основных резонансных пиков, расположенных в диапазоне $f_{РЕЗ} = 1450-2100$ Гц, что обуславливает незначительное усиление гармоник высокого порядка, генерируемых ПЧ с АВ ACS6000 в составе главных электроприводов четырехклетьевого стана ППП ХП, в отличие от ситуации на секциях РУ-10 кВ РП-19, описанной ниже.

Следует отметить, что в отличие от частотных характеристик с множественными резонансами, полученных для секций РУ-10 кВ ГПП-2, характеристики $Z_{СЕТИ}(f)$ для 1-й и 2-й секций РУ-10 кВ РП-19 значительно разнятся. Причиной этому является взаимное влияние емкостей КЛ, отходящих от фидеров 1 и 21 ГПП-2 и индуктивностей токоограничивающих реакторов, расположенных в тех же ячейках. Характеристики $Z_{СЕТИ}(f)$ для секций 1 и 2 РП-19 приведены на рис. 3, а, в. Как видно из рисунков, в характеристиках $Z_{СЕТИ}(f)$ присутствует одна область подъема импеданса сети, расположенная в широком диапазоне частот: 1) для секции 1 – от 4550 Гц ($n = 91$) до 6550 Гц ($n = 131$), с максимумом около 5400 Гц ($n = 108$); 2) для секции 2 – от 5450 Гц ($n = 109$) до 7150 Гц ($n = 143$), с двумя максимумами 6100 Гц ($n = 122$) и 6600 Гц ($n = 132$). Амплитуды резонансных пиков составляют от 800 до 2000 Ом, что является причиной усиления незначительных по амплитуде гармоник высокого порядка, генерируемых ПЧ с АВ ACS6000, и сильного ухудшения качества напряжения на секциях РП-19 (см. рис. 2).

Далее был выполнен анализ текущих алгоритмов ШИМ ПЧ с АВ на основе измеренных мгновенных значений потребляемых токов на первич-

ной стороне трансформаторов 10/3,15 кВ и их гармонического состава (рис. 4).

Результаты анализа показали, что:

1. В контроллере ШИМ АВ ЭП клетки №1 реализован алгоритм ШИМ с удалением выделенных гармоник с номерами 5 и 7 с 3-мя переключениями за четверть периода; в результате в гармоническом спектре потребляемого тока присутствуют гармоники значимой амплитуды с $n = 11, 13, 19, 23, 29$, которые попадают в основную резонансную область в частотной характеристике сети 10 кВ относительно секций РУ-10 кВ ГПП-2 и усиливаются в фазных и линейных напряжениях сети.

2. Для АВ ПЧ ЭП клеток №2 и 4 применен алгоритм ШИМ с удалением выделенных гармоник с $n = 5, 7, 11, 13, 17, 19$ с 7-ю переключениями за четверть периода. Принимая во внимание, что данный ПЧ с АВ имеет 12-пульсную схему питания, использование алгоритма ШИМ с удаляемыми гармониками с $n = 5, 7, 17, 19$ в токе на входе преобразователя не является рациональным, поскольку в данном случае не используется эффект автоматического удаления указанных гармоник за счет 12-пульсной схемы питания. Также в токах, потребляемых из сети 10 кВ, присутствуют значимые гармоники с $n = 23, 25, 35, 37$ и другие, которые попадают в основную резонансную область в частотных характеристиках сети 10 кВ относительно секций РУ-10 кВ ГПП-2, с последующим усилением в напряжении сети.

3. В потребляемом токе ЭП клетки №3 присутствуют гармоники с $n = 11, 13, 23, 25, 35, 37$ и т.д., не характерные для SHE PWM 12-пульсной схемы выпрямления. С учетом того, что для данного АВ применяется ШИМ с 7-ю переключениями за четверть периода, используемые настройки ШИМ не являются оптимальными.

4. Для АВ ЭП натяжной моталки применяется ШИМ с удалением выделенных гармоник с 9-ю переключениями. В потребляемом токе присутствуют гармоники с $n = 23, 29$ и др., попадающие в основную резонансную область в частотных характеристиках сети 10 кВ относительно секций РУ-10 кВ ГПП-2. Учитывая, что при 9 переключениях существует возможность полного удаления 8-ми значимых гармоник с номерами $n = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25$, текущие настройки ШИМ не являются оптимальными.

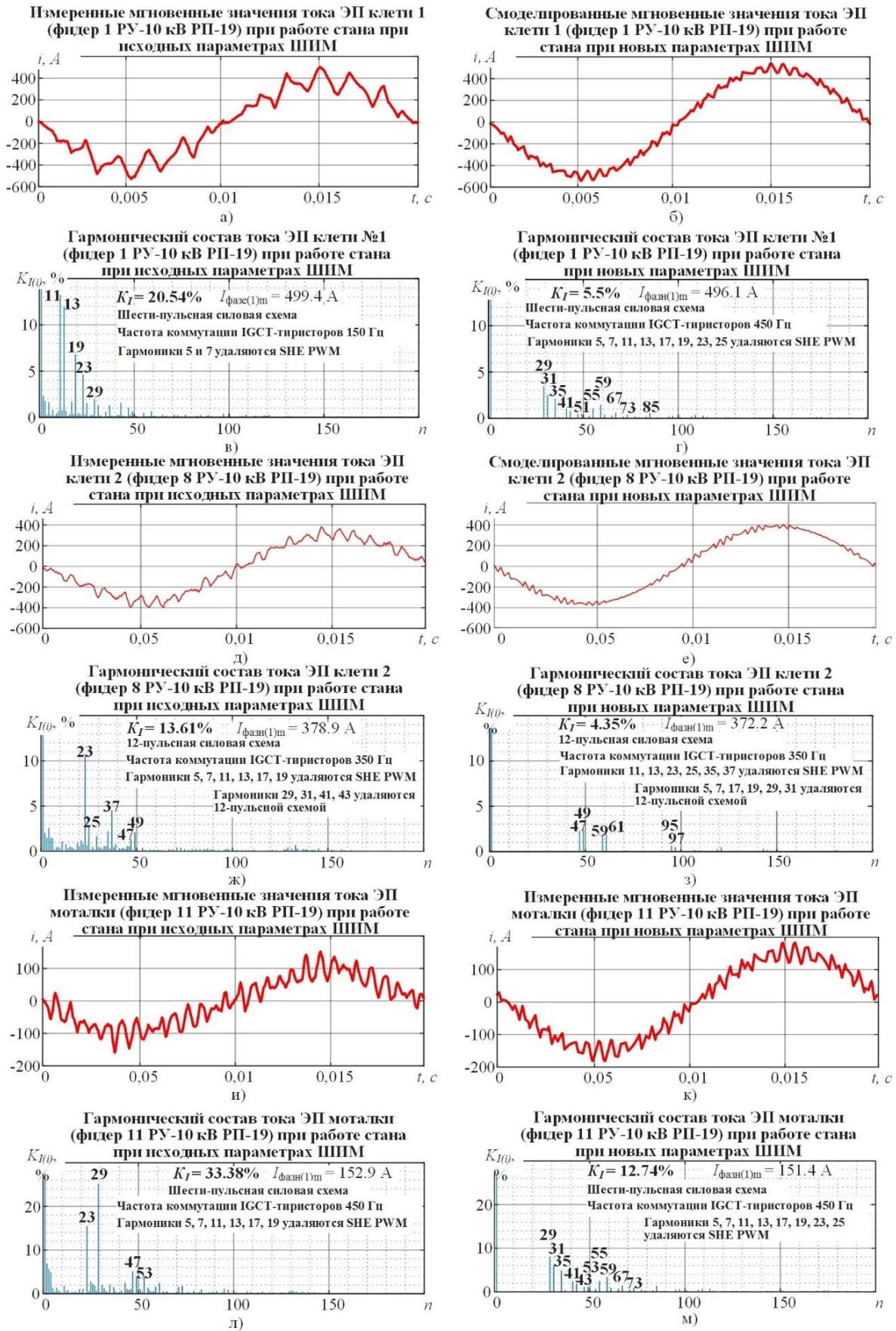


Рис. 4. Сравнительный анализ исходного и усовершенствованного алгоритма ШИМ с точки зрения гармонического состава токов ЭП 1-й, 2-й клеток и моталки

Усовершенствованный алгоритм ШИМ

С учетом выявленных резонансных явлений в частотной характеристике сети 10 кВ относительно секций РУ-10 кВ ГПП-2, являющихся точками общего присоединения мощных ЭП четырехклетьевого стана, а также других чувствительных электроприемников, был предложен способ улучшения ЭМС ПЧ с АВ за счёт использования измененных настроек ШИМ активных выпрямителей преобразователей частоты ACS6000. Основным критерием оптимизации алгоритмов ШИМ в данном случае являлось отсутствие значимых гармоник низкого и среднего частотного диапазона в потребляемых токах ПЧ с АВ с целью исключения попадания в основную резонансную область частотной характеристики сети 10 кВ. Теоретические исследования показали, что возможно при использовании следующих настроек ШИМ АВ:

1) для АВ ЭП клетки №1 и моталки, имеющих 6-пульсную схему питания, используется ШИМ с удалением выделенных гармоник с 9-ю переключениями за четверть периода, при этом в токах должны быть удалены первые 8 значимых гармоник с номерами $n = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25$;

2) для АВ ЭП клеток № 2, 3, 4, имеющих 12-пульсную схему питания, используется ШИМ с 7-ю переключениями за четверть периода, при этом в токах, потребляемых из сети 10 кВ, должны быть полностью удалены гармоники с $n = 11, 13, 23, 25, 35, 37$.

В соответствии с указанными выше условиями по методике, представленной в [16], были рассчитаны таблицы углов переключения силовых ключей АВ. Данные таблицы были использованы при моделировании ПЧ с АВ в имитационной модели внутризаводской распределительной сети, в которой были получены токи на входах ПЧ (рис. 4).

Так для ЭП клетки №1 величина K_I составила 5,5% при токе в 496,1 А. При этом в гармоническом спектре потребляемого тока были исключены все гармоники вплоть до 29. Аналогичный ШИМ был применён и для АВ ЭП моталки. Величина K_I составила 12,74% при токе в 151,4 А. На значимом уровне присутствуют гармоники с номерами 29, 31, 35 и др.

Показатель K_I для ЭП клетки №2 составил 4,35% при величине тока в 372,2 А, для клетки №3 – 2,36 % при 594,1 А, для клетки №4 – 2,22 % при токе 643,1 А. Для ЭП клеток №2, 3, 4 использовался одинаковый алгоритм ШИМ с исключением из гармонического спектра потребляемого тока всех гармоник вплоть до 47. На значимом уровне присутствуют гармоники с номерами 47, 49, 59, 61 и т.д.

Следующим этапом работы стал анализ напряжений на секциях 1 и 2 ГПП-2 и РП-19 на имитационной модели при использовании

начальных и улучшенных алгоритмов ШИМ АВ ПЧ (рис. 5). Результаты математического моделирования показали, что применение усовершенствованных алгоритмов ШИМ обеспечивает снижение коэффициента K_U на 21,9 – 52,8% при раздельной работе секций РУ-10 кВ ГПП-2 и на 82,3% при совместной работе секций РУ-10 кВ ГПП-2 с питанием от одного трансформатора 110/10 кВ (рис. 5, и). Качество напряжения на секциях РУ-10 кВ РП-19 при использовании новых алгоритмов ШИМ также улучшается: значение K_U напряжения на этих секциях снижается на 26,7-29,6%, что также является положительным результатом.

Выводы

1. Наличие резонансных явлений в частотной характеристике сети среднего напряжения системы внутризаводского распределительного электроснабжения промышленного предприятия, имеющего в своём составе мощные электропривода на базе ПЧ с АВ, может являться причиной сильных искажений напряжения на общих секциях главной понизительной подстанции. Данные искажения могут являться причиной сбоев в работе и выходе из строя чувствительных электроприёмников, получающих питание от общих шин ГПП.

2. При наличии токоограничивающих реакторов в фидерах РУ-10 кВ ГПП предприятия резонансные явления могут иметь сложную картину, заключающуюся в наличии многочисленных резонансных пиков в частотной характеристике сети относительно секций ГПП, что усложняет разработку мероприятий по обеспечению ЭМС ПЧ с АВ с питающей сетью.

3. В случае с ЧерМК ПАО «Северсталь» был предложен способ обеспечения ЭМС ПЧ с АВ с питающей сетью 10 кВ, заключающийся в адаптации параметров ШИМ с удалением выделенных гармоник (количество переключений IGBT-тиристоров за четверть периода, номера удаляемых гармоник) с учётом расположения резонансных пиков в частотной характеристике сети 10 кВ относительно секций РУ-10 кВ главной понизительной подстанции.

4. Результаты математического моделирования показали эффективность предложенного способа. Технический эффект по снижению коэффициента суммарных гармонических составляющих напряжения K_U на секциях РУ-10 кВ ГПП-2, являющихся точками общего присоединения, составил от 22 до 82,3% в зависимости от режима электроснабжения (раздельная или совместная работа секций РУ-10 кВ ГПП-2). Разработанные рекомендации были переданы специалистам компании АВВ и приняты к сведению.

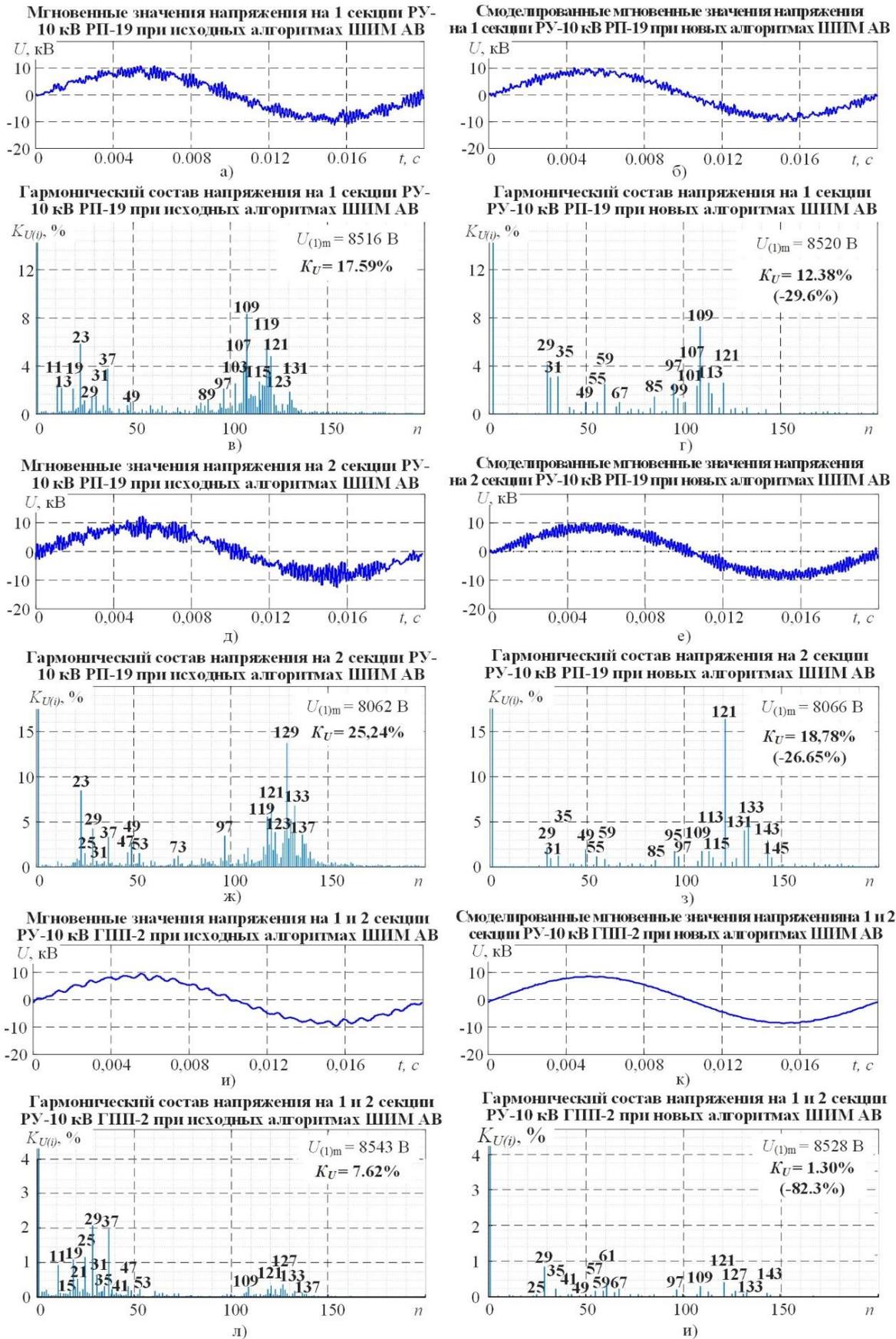


Рис. 5. Сравнительный анализ исходного и усовершенствованного алгоритма ШИМ с точки зрения гармонического состава напряжения на шинах РУ-10 кВ ГПП-2 и РП-19

5. Помимо рассмотренного способа обеспечения ЭМС были предложены другие технические мероприятия: 1) изменение конфигурации сети 10 кВ района ГПП-2 за счет отключения отдельных кабельных линий от секций РУ-10 кВ ГПП-2; 2) создание «грязной» и «чистой» секций в РУ-10 кВ ГПП-2; 3) отключение токоограничивающих реакторов в ячейках 1 и 21 РУ-10 кВ ГПП-2; 4) использование специализированных фильтрокомпенсирующих устройств, устанавливаемых в РУ-10 кВ РП-19.

По результатам исследований было установлено, что эффект от применения усовершенствованных алгоритмов ШИМ АВ сопоставим с эффектом от применения ФКУ, однако не несёт капитальных затрат.

Список литературы

1. Храмшин Т.Р., Крубцов Д.С., Корнилов Г.П. Оценка методов широтно-импульсной модуляции напряжения активных выпрямителей прокатных станов // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. 2013. №2. С. 48-52.
2. O'Brien K., Teichmann R., Bernet S. Active rectifier for medium voltage drive systems. *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2001. APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE, 2001*, pp. 557-562.
3. Крубцов Д.С., Храмшин Т.Р., Корнилов Г.П. Способы управления активными выпрямителями главных электроприводов прокатных станов // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2013. № 71. С. 3-6.
4. Маклаков А.С. Имитационное моделирование главного электропривода прокатной клетки толстолистного стана 5000 // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. 2014. №3. С. 16-25.
5. Храмшин Т.Р., Крубцов Д.С., Корнилов Г.П. Математическая модель активного выпрямителя в несимметричных режимах работы // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. 2014. №2. С. 3-9.
6. Маклаков А.С., Гасияров В.Р., Белый А.В. Энергосберегающий электропривод на базе двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем и автономным инвертором напряжения // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. 2014. Т.1., № 1. С. 23-30.
7. Franquelo L.G., Javier Nápoles. A Flexible Selective Harmonic Mitigation Technique to Meet Grid Codes in Three-Level PWM Converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, no. 6, December 2007.
8. Moeini A., Zhao H. and Wang S. A current reference based selective harmonic current mitigation pwm technique to improve the performance of cascaded H-bridge multilevel active rectifiers. *IEEE Trans. Ind. Electronics*, vol. 65, pp. 727-737, 2018.
9. Jing T., Maklakov A. and Radionov A. Two Selective Harmonic Control Techniques Applied in 10kV Grid with Three-Level NPC Inverter. *2019 IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Practice (PEAMI), Magnitogorsk, Russia, 2019*, pp. 75-79, doi: 10.1109/PEAMI.2019.8915413.
10. Endrejat F., Pillay P. Resonance Overvoltages in Medium Voltage Multilevel Drive System. *2007 IEEE International Electric Machines & Drives Conference - Antalya, 2007*, pp. 736-741.
11. Pontt J., Alzamora G., Huerta R., Becker N. Resonances in a High-Power Active-Front-End Rectifier System. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 2, pp. 482-488, April 2005.
12. Dong J., Rixin L., Fei W., Fang L., Shuo W., and Boroyevich D. Study of conducted EMI reduction for threephase active front-end rectifier. *IEEE Trans. Power Electron. Dec. 2011*, vol. 26, no. 12, pp. 3823-3831.
13. Chaladying S., Charlangsut A., Rugthaichareoncheep N. Parallel resonance impact on power factor improvement in power system with harmonic distortion *TENCON 2015 - 2015 IEEE Region 10 Conference - Macao, 2015*, pp. 1-5.
14. Nikolaev A.A., Bulanov M.V., Antropova L.I. Ways to ensure electromagnetic compatibility of powerful frequency converters in internal power supply systems of industrial enterprises in the presence of resonance phenomena. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, 2019*.
15. Экспериментальные исследования электромагнитной совместимости современных электроприводов в системе электроснабжения металлургического предприятия / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин, Г.В. Никифоров, Ф.Ф. Муталлапова // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2016. Т. 14. №4. С. 96-105.
16. Николаев А.А., Гилемов И.Г. Улучшение качества напряжения в электрических сетях с активными выпрямителями за счет выбора оптимальных таблиц углов переключения ШИМ // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. №4(45). С. 35-42. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4\(45\)-35-42](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4(45)-35-42)

Сведения об авторах

Николаев Александр Аркадьевич – канд. техн. наук, доц., зав. каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. <http://orcid.org/0000-0001-5014-4852>. E-mail: alexniko@inbox.ru.

Гилемов Ильдар Галиевич – аспирант каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Буланов Михаил Викторович – аспирант каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Афанасьев Максим Юрьевич – аспирант каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Шахбиева Карина Асланбековна – магистрант каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Лаптова Вероника Анатольевна – магистрант каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.



УДК 614.8

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ЗАДАЧ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ТРУДА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Суходоев В.А.¹, Егорова Л.Г.²¹ООО «Объединенная Сервисная Компания», Магнитогорск²ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Увеличение объемов информации и внедрение компьютерных технологий стали предъявлять повышенные требования к организации информационно-документационного обслуживания области учета охраны труда и техники безопасности на промышленном предприятии. В подобных условиях возникает необходимость в использовании наиболее рациональных методов поиска и обработки информации с разработкой новых способов, режимов и методик оценки, оптимизации и анализа документооборота предприятия, используя цифровые возможности компьютерных технологий. Преимущество разрабатываемого обеспечения заключается в том, что оно доступно для руководителей и их подчиненного персонала и позволяет работать с документами на любом уровне.

Ключевые слова: автоматизированная система, промышленная безопасность, охрана труда, алгоритмическое обеспечение, обработка информации.

Благодаря тому, что производство переходит к принципу автоматизации процессов, многие предприятия имеют унифицированную систему управления, которая позволяет вести документооборот документации в цифровом виде, а также производить дополнительные операции.

Периодическая оценка производственных работ на соответствие требованиям государственных нормативов охраны труда производится для увеличения показателей безопасности и эффективности трудовой деятельности на промышленном предприятии. Постоянное наблюдение состояний условий на рабочих местах является одним из основополагающих принципов обеспечения безопасности и эффективным средством предупреждения профессиональных заболеваний и травматизма.

Система управления охраной труда представляет собой часть общей системы управления организации. Положительное влияние внедрения систем управления охраной труда на уровне организации, выражающееся в снижении воздействия опасных и вредных производственных факторов, а также рисков и повышении производительности труда [1-3].

Система управления охраной труда – это полноценная система коррекционных мероприятий и нормативных документов, описывающие способы организации управления охраной труда на предприятии.

Основные задачи системы управления охраной труда на промышленном предприятии:

- обеспечение отсутствия аварийных ситуаций во время производственных работ при помощи оборудования, технического и санитарно-гигиенического обеспечения допустимых условий труда, включая средства так называемой коллективной защиты работников;
- обеспечение и организация безопасного протекания всех производственных процессов и приемов работы персонала, включая использование средств индивидуальной защиты;
- организация различных мероприятий сертификации, страхования и лицензирования, которые необходимы для предприятия.

Система управления охраной труда представляет собой комплекс связанных или взаимодействующих между собой модулей, на основании которых реализуются цели, а также процедуры по достижению этих целей. Системе управления охраной труда необходимо соответствовать возможностям обеспечения совместимости или объединения системы с другими подразделениями на промышленном предприятии.

Исходя из вышесказанного, основной целью являются методы оценивания функционирования и увеличения эффективной работы системы управления охраной труда, что в свою очередь влечет за собой совершенствование производственной деятельности предприятия по обеспечению мер по безопасности труда. Этот процесс включает в себя поэтапную реализацию необхо-

димых коррекционных мероприятий по охране труда, а также последующую оценку их эффективности, требующих улучшения. Система управления охраной труда предоставляет возможности к адаптации и изменению как внутренних, так и внешних факторов организации предприятия (рис.1).

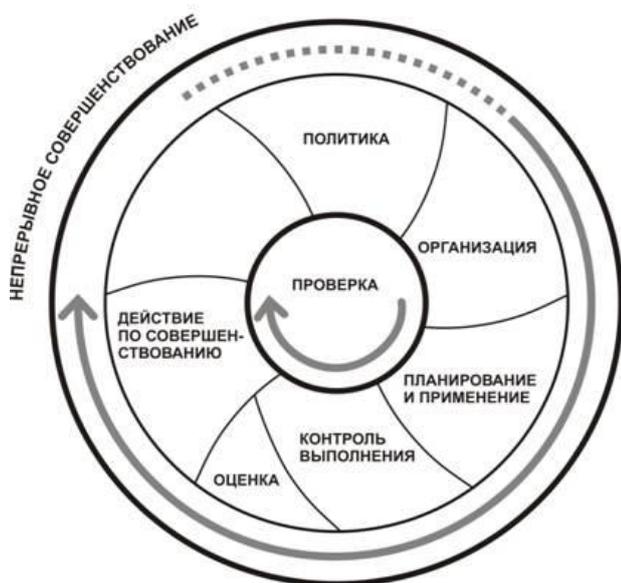


Рис. 1. Основные элементы системы управления охраной труда

Реализация системы управления охраной труда предприятия осуществляется в несколько этапов. На первом этапе формируется цель системы управления охраной труда, к примеру повышение эффективности организационных работ по охране труда, уменьшение случаев, связанных со здоровьем рабочего персонала, полноценное выполнение требований по охране труда на законодательном уровне. Вырабатываются методы для реализации целей, учитывающие уже имеющиеся подходы к управлению охраной труда в организации. Учитываются методы, выполняемые в системах управления охраной труда организации, определяющие виды экономической деятельности или основанные на повышении доступности персонала к информационной среде, в которой описываются данные об опасностях и профессиональных рисках его деятельности, а также способы с применением программ безопасности или анализа риска.

Выполняемые охраной труда процессы автоматизации позволяют произвести оптимизацию целого комплекса работ по организационным мероприятиям и регулирование состояния условий, указанных в нормативных документах. Способы технологической автоматизации предоставляют

возможности обеспечения сетевого доступа по запросу к определённым местам хранения данных и сетям их передачи, приложениям и сервисам, устройствам хранения информации – как вместе, так и по отдельности, благодаря этому значительно сокращаются расходы на инфраструктуру информационных технологий.

Внедрение новых технических средств и программного обеспечения предоставляет возможность для интеграции документооборота в единую систему управления предприятием в цифровом виде. Для реализации данной возможности необходимо проектирование с последующей программной реализацией модулей контроля условий охраны труда на предприятии, которые будут включены в общую унифицированную систему.

Целью исследования является снижения временных затрат на обработку информации в системе охраны труда на промышленном предприятии посредством разработки и внедрения комплекса программ. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить положения и нормативные документы в области обработки информации в системе охраны труда и техники безопасности на промышленном предприятии.
2. Выполнить теоретический анализ научно-практических разработок в области обработки информации в системе охраны труда и техники безопасности на промышленном предприятии.
3. Разработать алгоритмическое и программное решения для уменьшения времени работы на обработку информации в системе учета охраны труда и техники безопасности средствами вычислительной техники.
4. Выполнить анализ результатов опытной эксплуатации программных решений для автоматизации работ отдела охраны труда на предприятии.

Анализ области охраны труда, а в особенности регламентирующие документы позволило отметить основные задачи организации охраны труда на промышленном предприятии. К ним относятся консультирование и информирование работников организации, повышение качества условий труда, организация работы по обеспечению выполнения работниками требований охраны труда, проведение инструктажей, обучения и проверки знаний работников, специалистов и руководителей организаций, контроль за соблюдением законодательных и иных нормативных правовых актов по охране труда работниками организации.

Благодаря выявленным задачам возможно произвести формирование функциональных требований к разрабатываемой системе.

Основная часть

В условиях унифицированной информационной системы управления предприятием разработано алгоритмическое обеспечение, включающее в себя следующие модули (рис. 2):

- трехступенчатый контроль по охране труда – система постоянного контроля нарушений и обеспечения требований охраны труда в процессе деятельности предприятия [4, 5];
- учет выдачи средств индивидуальной защиты – система формирования ведомостей, которые используются для регистрации и учета факта установки норм, факта выдачи и возврата спецодежды;
- проекты норм – система для формирования перечня средств индивидуальной защиты для конкретной позиции работника;
- видеоинструктажи – система для организации прохождения первичного инструктажа;
- спецодежда – система для формирования перечня спецодежды для конкретной позиции работника.

Для полноценного функционирования и выполнения целей охраны труда необходимо использование современных информационных технологий и подходов. Информационное обеспечение охраны труда предусматривает единство действий в этом направлении на всех уровнях управления и является важной составной частью системного подхода к безопасности труда.

Таким образом, каждый из модулей использует собственный алгоритм, позволяющий производить конкретные задания, обеспечивающие автоматизированный подход при работе с разделом.

Для обеспечения полноценной работы информационной технологии необходимо использование автоматизированного рабочего места специалиста по охране труда, которое представляет собой программный комплекс, основанный на базе электронно-вычислительной машины, на рабочем месте пользователя, владеющим основными навыками работы с ЭВМ.

При исследовании предметной области была выявлена следующая проблема. Большинство разделов охраны труда фиксируется на бумажных носителях, который сотрудник охраны труда должен иметь при себе и своевременно заполнять в связи с выполнением своих обязанностей. Исходя из вышесказанного, нерешенным остается отсутствие единой формы введения разделов охраны труда в различных направлениях.

В результате внедрения комплексного алгоритмического обеспечения достигается:

- снижение общего уровня травмирования, возникновение несчастных случаев и аварийных ситуаций за счет контроля обеспечения условий охраны труда;
- выполнение общего цикла обеспечения производственного контроля на предприятии на всех уровнях иерархии;
- увеличение скорости взаимодействия ответственных специалистов внутри системы, а также с различными подразделениями и службами;
- снижение вероятности выявления новых и повторных нарушений и, как следствие, получения предписаний и штрафных санкций со стороны надзорных органов за счет систематизации и контроля за исполнением требований.



Рис. 2. Схема описания структура алгоритмического обеспечения

Выводы

В данный момент к проблеме охраны труда на производстве относятся без должного внимания. Руководящий персонал предприятия отдает предпочтение в большей степени к вопросам увеличения прибыли и снижения затрат. В свою очередь, государство обязывает руководителей нести полную ответственность за здоровье и жизнь рабочего персонала, выполняющего трудовую деятельность согласно регламенту предприятия, следовательно, руководство обязано выполнять предписания указанные законом. Автоматизация задач охраны труда позволяет оптимизировать рабочий процесс выполнения функций охраны труда и корректную организацию выполнения коррекционных мероприятий, таких как инструктажи, медицинские осмотры и оценка условий труда, а также поддержание на должном уровне охрану труда на предприятии.

Итогом работы стало разработанное алгоритмическое обеспечение для автоматизации задач охраны труда, предоставляющее информационную поддержку сотрудникам отдела охраны труда и непосредственному руководству при реализации взаимодействия с надзорными органами и основными задачами отдела охраны труда.

Список литературы

1. Борисова А.В., Финоченко В.А. Теоретические аспекты выбора технических средств для проведения контроля и мониторинга вредных и опасных производственных факторов // Вестник РЕУИС. 2014. № 4 (56). С. 24–30.
2. Создание информационной системы по учету и анализу результатов контрольно-профилактической деятельности в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды / М.А. Галлямов, Н.В. Вадулина, В.С. Проскура, А.О. Салимов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2019. № 2. С. 48–64.
3. Совершенствование систем промышленной и экологической безопасности ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» как обязательное условие его устойчивого развития / В.И. Гладских, О.Ф. Дробный, С.А. Ласьков, В.Д. Черчинцев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 107–111.
4. Егорова Л.Г., Суходоев В.А. Автоматизация контроля производственной безопасности на промышленном предприятии // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2019. Т. 7. № 2. С. 45–46.
5. Егорова Л.Г., Суходоев В.А., Логунова О.С. Модуль обработки информации в автоматизированной системе контроля производственной безопасности на промышленном предприятии // Вестник Череповецкого государственного университета 2020. № 4 (97). С. 19–31.

Сведения об авторах

Суходоев Владислав Андреевич – магистрант группы АВм-20-1, инженер-программист, ООО «Объединенная Сервисная Компания», г. Магнитогорск. ORCID ID 0000-0002-7282-3722. E-mail: hades0050@gmail.com

Егорова Людмила Геннадьевна – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID ID 0000-0002-8763-9653. E-mail: egorov-lyudmil@yandex.ru.com

УДК 621.3

АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ ЛИНИЙ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОДСТАНЦИИ СМЕЛОВСКАЯ 500 кВ

Корнилов Г.П., Медведев Н.М., Кондрашова Ю.Н.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Metallургическое предприятие является одним из энергоемких потребителей в Магнитогорском энергетическом узле, на долю которого приходится около 25% потребляемой электроэнергии. Надежная и безаварийная работа оборудования обеспечивается при выполнении нескольких факторов, в том числе при обеспечении надежности и показателей качества электроэнергии. Для обеспечения бесперебойной работы энергосистемы требуется равенство генерации и потребления активной и реактивной мощностей. Основным показателем баланса активной мощности и общесистемным критерием является частота переменного тока, а нормативным показателем служат значения напряжения. Поэтому в отличие от баланса активной мощности необходимо обеспечить баланс и резерв реактивной мощности не только в целом в энергосистеме, но и в отдельных узлах нагрузки. Режимы работы по реактивной мощности в электрических сетях зависят как от параметров элементов энергосистемы, так и от согласования их характеристик, в связи с чем обеспечение баланса и резерва реактивной мощности требует отдельного анализа. В работе рассмотрены вопросы режима работы и электропотребления узловой подстанции 500 кВ Смеловская. Проанализированы нагрузки текущие и десятилетней давности. Даны рекомендации по применению компенсаторов реактивной мощности для повышения надежности и качества электроснабжения.

Ключевые слова: график электрических нагрузок, электропотребление, компенсация реактивной мощности, металлургическое предприятие, электрическая подстанция.

Введение

Подстанция 500 кВ Смеловская осуществляет транзит мощности ПС Бекетово – ПС Магнитогорская, а также распределяет мощности на 8 линий потребителей 220 кВ и 5 линий потребителей 110 кВ, поэтому является системообразующей подстанцией.

Потребителями электроэнергии являются: подстанции 220 кВ, расположенные в г. Белорецке и в г. Учалы, Магнитогорский металлургический комбинат (ПС 30, ПС 99). Все эти электроприемники относятся к первой категории надежности, перерыв электроснабжения которых недопустим и может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Анализ загруженности линий и качества электроэнергии

Источниками питания потребителей являются группа однофазных автотрансформаторов АТ1 500/220/15 кВ мощностью 801 МВА и автотрансформатор АТ3 220/110/10 кВ 200 МВА. Принципиальная схема подстанции показана на рис. 1.

В результате выполненного анализа были выбраны характерные графики электрических нагрузок за месяц. При этом на рис. 2 показан график электрических нагрузок для АТ-1 по активной и реактивной мощности, а на рис. 3 – график электрических нагрузок для транзита мощности 500 кВ за декабрь месяц 2020 года.

По значениям электрических нагрузок, очевидно, что передаваемая мощность далека от допустимых значений мощности, автотрансформаторная группа загружена лишь на треть, а в летние месяцы значения могут быть еще ниже.

Качество напряжения в энергосистеме зависит от многих противоречивых факторов. Потребление мощности непостоянно, но имеет ярко выраженные максимумы и минимумы как в годовых, так и в суточных диапазонах времени. В соответствии с этим изменяется режим генерации мощности и передачи ее по линиям.

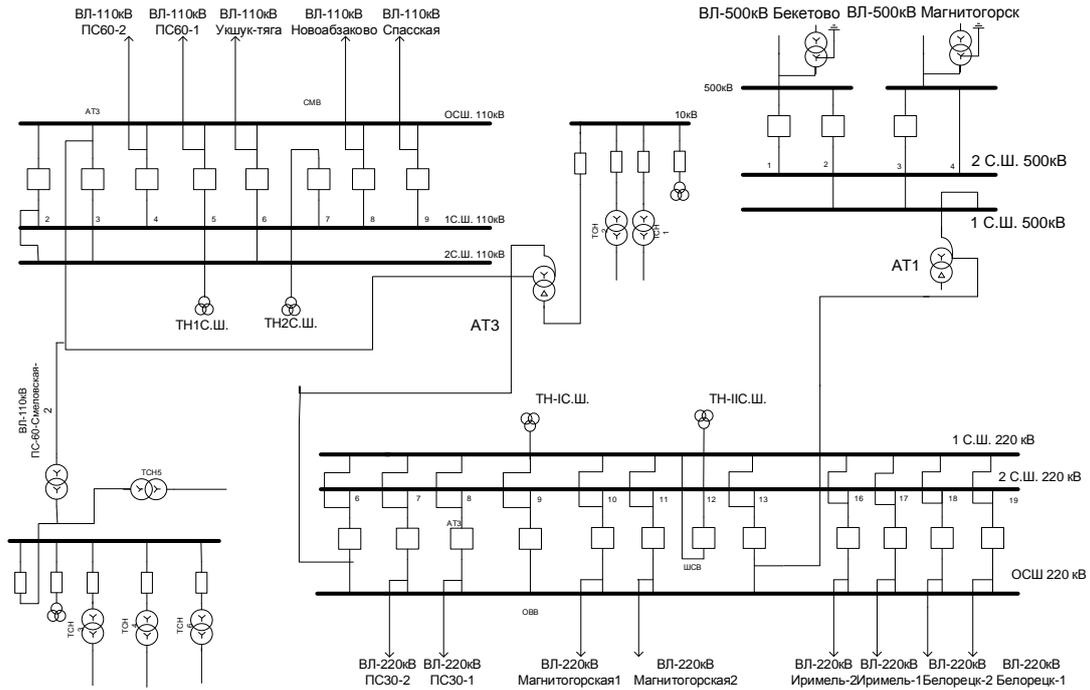


Рис. 1. Схема ПС Смеловская

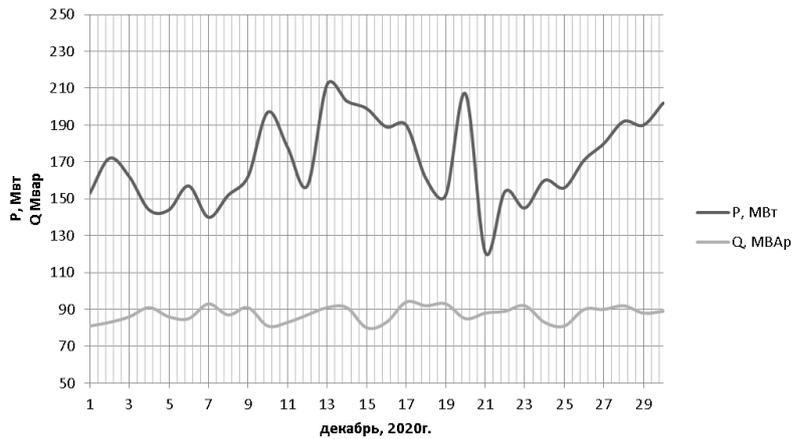


Рис. 2. График электрических нагрузок через АТ-1 за месяц

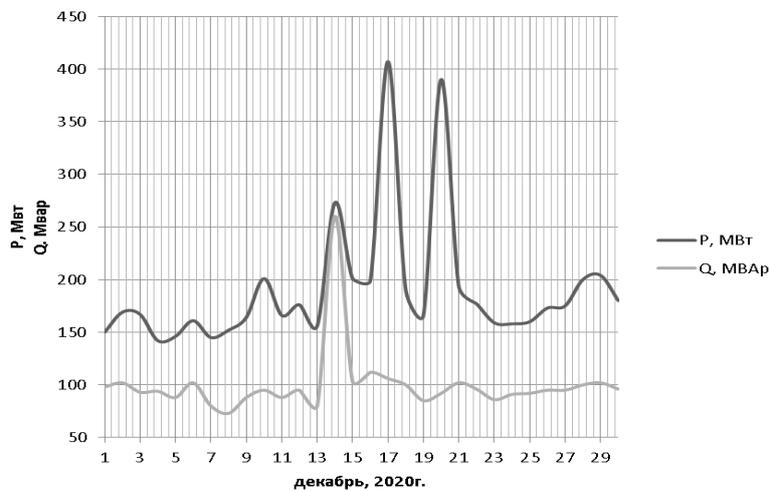


Рис. 3. График электрических нагрузок за месяц для транзита 500 кВ

Линии электропередачи являются сложными электромагнитными системами, которые не только передают активную мощность, но и сами генерируют или потребляют реактивную мощность в зависимости от режима работы. При передаче мощности меньше натуральной линия генерирует реактивную мощность емкостного характера. Максимальная генерация реактивной мощности соответствует холостому режиму линии, и по мере роста нагрузки и тока в линии реактивная мощность переходит через ноль и становится индуктивной. Эта особенность линий чрезвычайно усложняет управление энергетическими системами. Дело в том, что генерируемая линиями реактивная мощность должна быть поглощена в энергосистеме, а потребляемая линиями мощность должна быть возмещена системой. Устройства потребления и генерации реактивной мощности расположены в отдельных узлах, что определяет протекание к ним реактивного тока, вызывая колебания напряжения в сети. В режиме малых нагрузок напряжение в

энергосистеме повышается.

Технологически максимальное допустимое значение мощности, которая может быть передана с учетом условий эксплуатации и параметров надежности функционирования (пропускная способность) для ВЛ 500 кВ, является 700-900 МВт, ВЛ 220 кВ 100-200 МВт, ВЛ 110 кВ 25-50 МВт. Проанализировав нагрузку ВЛ на ПС 500 кВ Смоленская, можно сделать вывод, что линии не загружаются более чем на 50% от их номинальных параметров, что приводит к повышению уровня напряжения на шинах ПС на 4-6%.

Рассмотрим нагрузку на ВЛ 220 кВ питающей ПС 30, от которой, в свою очередь, питаются основные производственные узлы металлургического комбината (ККЦ, ЛПЦ-10). Проведя сравнительный анализ загруженности ВЛ ПС 30 за декабрь 2010 и 2020 годов были получены нижепредставленные зависимости активной (рис. 4) и реактивной мощностей (рис. 5).

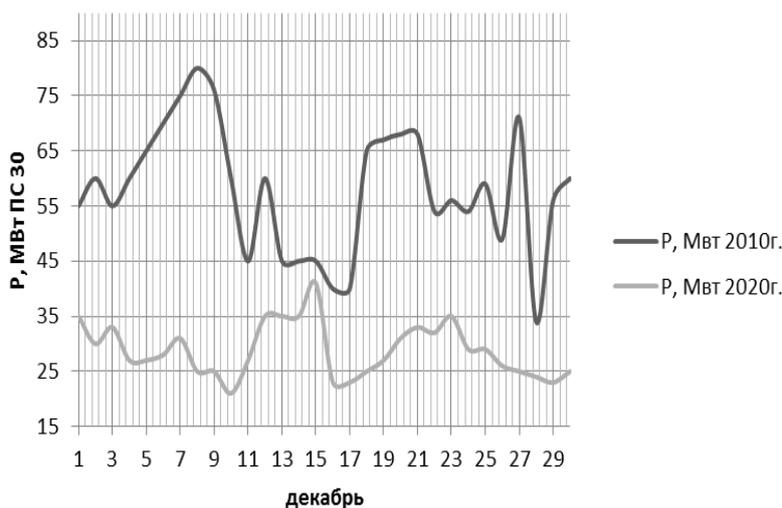


Рис. 4. График электрических нагрузок для переданной активной мощности за месяц

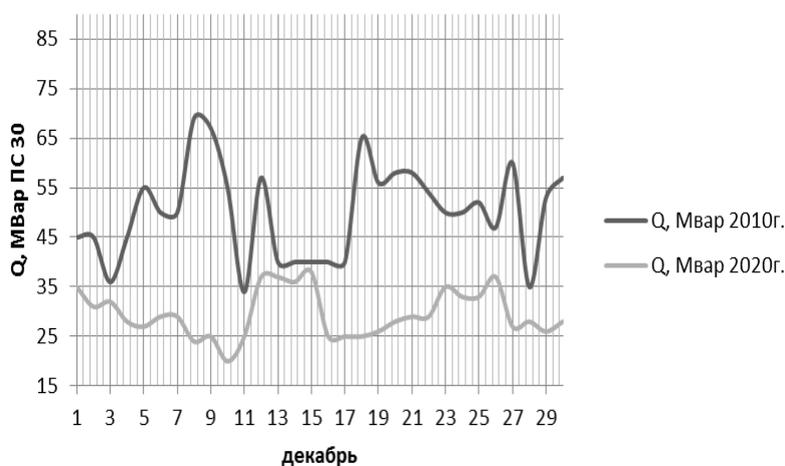


Рис. 5. График электрических нагрузок для переданной реактивной мощности за месяц

За данный промежуток времени потребляемая северной группой цехов ПАО «ММК» мощность снизилась более чем в два раза. При условии нарастания производственных процессов и увеличения выпуска продукции можно сделать вывод об успешном внедрении современного оборудования и энергосберегающих технологий на предприятиях [1–3] и выработке активной мощности собственными генераторами.

Как уже отмечалось, особенность промышленного узла заключается в том, что большая часть потребляемой мощности вырабатывается собственными электростанциями и воздушные линии, соединяющие предприятие с внешней энергосистемой, работают с малым коэффициентом загрузки. Незагруженная линия обладает свойствами значительной распределенной емкости, реактивная мощность [4, 5] которой рассчитывается по формуле [6]:

$$Q_{\text{ген}} = q_c L (1 - k_3^2),$$

где q_c – удельная генерация реактивной мощности, МВар/км; L – длина ВЛ, км; k_3 – коэффициент загрузки линии.

Генерация реактивной мощности ВЛ различных классов напряжений представлены в таблице. Избыток реактивной мощности на приемном конце линии необходимо компенсировать специальными шунтирующими реакторами или индуктивной нагрузкой, чтобы не допустить повышение напряжения.

Генерация реактивной мощности ВЛ различных классов напряжений

Класс напряжение линии	$P_{\text{пред}}$, МВт	$P_{\text{нат}}$, МВт	$Q_{\text{ген}}$, МВар
500 кВ	1000	900	45
220 кВ	200	135	13
110 кВ	45	30	8

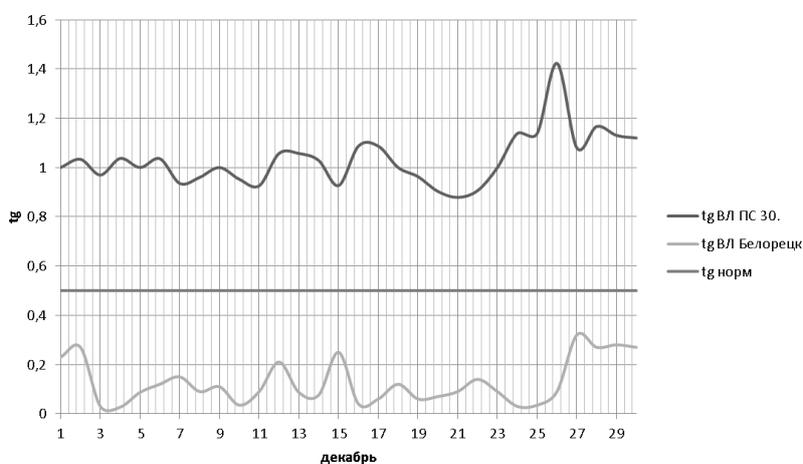


Рис. 6. Месячный график коэффициента реактивной мощности

Сравнивая диапазон суточных значений коэффициента реактивной мощности ($\text{tg}\phi$) за декабрь 2020 года ВЛ 220 кВ ПС 30, питающей производство, и ВЛ 220 кВ Белорецк, питающей в большей степени бытовые электроприемники, можно увидеть колоссальную разницу в потреблении реактивной мощности. При нормативном значении $\text{tg}\phi_n = 0,5$ средним значением для потребителей ММК является $\text{tg}\phi = 1,17$, для потребителей Белорецка $\text{tg}\phi = 0,13$, значения которых представлены на рис. 6. Причина больших значений $\text{tg}\phi$ состоит как в низкой степени использования заводских источников реактивной мощности с целью ее компенсации, так и в малых значениях активной мощности, потребляемой из сети.

Повышенное потребление реактивной мощности негативно влияет на уровень напряжения на шинах подстанции. На рис. 7 представлены замеры напряжения на шинах 220 кВ. Максимальное отклонение напряжения за декабрь 2020 года составляло около 8%, что близко к предельным значениям.

Заключение

В случае остановки ряда агрегатов или цехов и уменьшения потребления активной мощности возможно повышение уровня напряжения выше допустимых пределов. Для предотвращения подобных ситуаций и повышения надежности электроснабжения [7] необходимо увеличивать выработку реактивной мощности со стороны потребителей и вводить в работу дополнительные компенсирующие устройства.

Модернизация производства ПАО «ММК» привела к снижению потребления активной мощности из энергосистемы, при этом питающие линии стали источниками реактивной мощности, что привело к существенному повышению напряжения в сети.

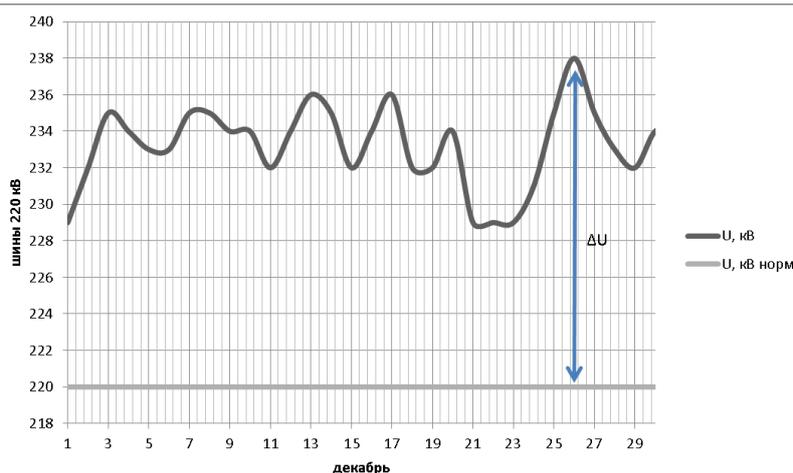


Рис. 7. Напряжение на шинах 220 кВ

Список литературы

1. Костин В.Н., Располов Е.В. Передача и распределение электроэнергии: учебное пособие. СПб.: СЗТУ, 2003. 147 с.
2. Никифоров Г.В., Заславец Б.И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. М.: Энергоатомиздат, 2003.
3. Даниленко В.Г., Николаев Н.А. Развитие электросетевого хозяйства ПАО «ММК» // Промышленная энергетика. 2008. №12.
4. Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р., Шеметов А.Н. Современные способы компенсации реактивной мощности крупных металлургических приводов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2009 №1. С. 28-31.
5. Карандаев А.С., Корнилов Г.П., Николаев А.А. Особенности компенсации реактивной мощности на крупном металлургическом предприятии // Промышленная энергетика. 2010. №12. С. 43-49.
6. Николаев А.А., Коваленко А.Ю., Кузнецов Е.А. Средства и перспективы управления реактивной мощностью крупного металлургического предприятия // Электротехника. 2008. №5. С. 25-32.
7. Корнилов Г.П., Абдулвелеев И.Р., Коваленко А.Ю. Повышение надежности электроснабжения металлургических агрегатов за счет схемотехнических решений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Энергетика. 2019. Т 19. №14. С. 59-69.

Сведения об авторах

Корнилов Геннадий Петрович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ЭПП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: korn_mgn@mail.ru.

Медведев Никита Михайлович – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Кондрашова Юлия Николаевна – канд. техн. наук, доцент кафедры ЭПП, зам.дир.по НИР ИЭиАС, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 681.516.75

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМАТИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Работников М.А.

ООО «ЗапСибНефтехим», Тобольск

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы и технические решения в области автоматического управления технологическими процессами, базирующиеся на применении многомерных математических моделей исследуемого объекта.

Для поддержания режима в оптимальной с экономической точки зрения области активно применяются системы усовершенствованного управления, позволяющие компенсировать влияние возмущающих воздействий на контролируемые параметры процесса. Используемые алгоритмы предиктивного контроля базируются на многомерных динамических моделях, прогнозирующих поведение технологического процесса. От точности проводимого моделирования процесса напрямую зависят стабильность технологического режима и робастность системы автоматического регулирования, поэтому на практике вопросам поддержания качества используемых моделей уделяется большое внимание.

Ключевые слова: идентификация, многомерные модели, управление с прогнозирующей моделью, алгоритмы предиктивного управления.

Актуальные технические решения ведения непрерывных технологических процессов основываются на применении современных инструментов математического моделирования, позволяющих исследовать состояние и поведение управляемого технологического объекта в режиме реального времени. Применение подобных методов, основываясь на данных сформированной исторической выборки и проектной информации об объекте, позволяет детально анализировать состояние технологического процесса по каналам нерегистрируемыми средствами системы контрольно-измерительных приборов и базовой автоматики, а также отследить прогнозируемое состояние объекта [1]. На основании получаемого по данным многомерной математической модели объекта расширенного спектра информации о текущем состоянии и поведении управляемого процесса на практике реализуется множество алгоритмов продвинутого и усовершенствованного управления, автоматизирующих процесс принятия решения о выборе и стратегии достижения оптимального технологического режима [2].

Для получения данных о текущем качественном составе выпускаемой товарной продукции и неявных нерегистрируемых показателях технологического процесса используются статические модели объекта. К ним относятся регрессионные модели, полученные на основании экстраполяции

зависимостей между историческими данными технологического процесса и соответствующими значениями системы лабораторного анализа, а также строгие математические модели, структура которых основана на информации о проходящем физико-химическом процессе и проектных данных о техническом исполнении управляемого объекта [3]. Применение статистических моделей позволяет определить точку оптимума технологического режима, к которой необходимо стремиться при управлении непрерывным технологическим процессом, обеспечивая максимальную экономическую эффективность рассматриваемой производственной цепочки.

В настоящее время для управления и стабилизации сложных технологических процессов, обладающих свойствами многомерной системы, широкое распространение получили алгоритмы предиктивного управления – MPC (Model Predictive Control). В их основе заложен подход комбинированного управления – компенсации влияния возмущающих воздействий на объект по данным прогнозируемого изменения выходных параметров динамической модели процесса [4]. Такая схема управления позволяет стабилизировать процесс, обеспечивая возможность смещения области ведения технологического режима к границе спецификации качественного состава выпускаемой продукции, решая тем самым задачу оптимального ведения технологического процесса по сформированному технико-экономическому

критерию [5, 6]. На рис. 1 отражена функциональная схема системы автоматического регулирования технологическим процессом, использующая алгоритмы предиктивного контроля, где ТП – технологический процесс, РСУ – распределенная система управления.

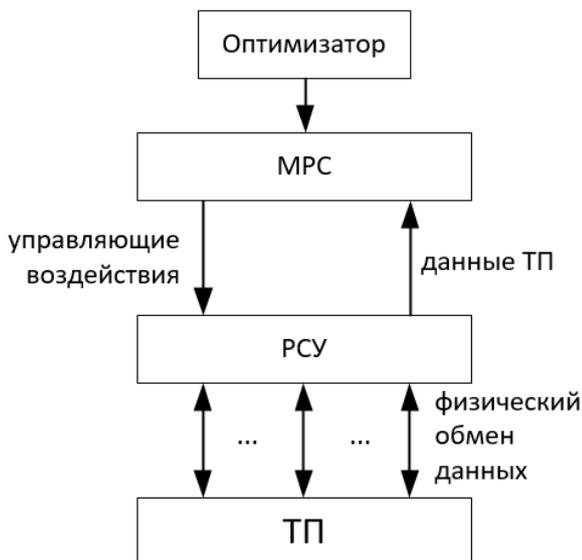


Рис. 1. Функциональная схема предиктивного управления технологическим процессом

Прогнозирование поведения управляемого технологического объекта осуществляется блоком динамического моделирования, задействованного в структуре МРС контроллера, по данным изменения входных сигналов многомерной модели объекта: наблюдаемых внешних возмущений и управляющих параметров. В основе используемого математического аппарата лежит система линейных дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы контролируемых параметров. Для удобства описания используемая система уравнений приводится к виду матричной передаточной функции размерности $p \times q$, где, p, q – количество входных и выходных параметров модели соответственно. При этом элементы матрицы записываются в виде характеристического полинома $W(s)$:

$$W(s) = \frac{\sum_{i=1}^m a_i s^i}{\sum_{j=1}^n b_j s^j} e^{-\tau s}, \quad (1)$$

где s – оператор Лапласа; a, b – параметры полинома числителя и знаменателя соответственно; τ – временное запаздывание канала передачи; $m \leq n$ – условие физической реализуемости.

Построение $W(s)$ осуществляется по историческим данным технологического процесса – откликам контролируемых параметров на известные ступенчатые изменения входных параметров модели:

$$\min_{a,b,\tau} (h_{real}(t) - h_{app}(a,b,\tau,t))^2, \quad (2)$$

где $h_{real}(t)$ – реальная переходная характеристика процесса; $h_{app}(a,b,\tau,t) = L^{-1}\{W(s)\}$ – аппроксимирующая характеристика модели; t – время.

Структура аппроксимирующей характеристики определяется исходя из наблюдаемых свойств технологического объекта и возможностей повышения точности проводимой идентификации.

Используемая многомерная модель, прогнозирующая поведение контролируемых параметров, носит ключевую роль в замкнутом контуре системы предиктивного управления технологическим объектом. От соответствия полученных динамических свойств реальным характеристикам системы напрямую зависят показатели качества процесса регулирования, стабильность технологического режима и устойчивость самой системы. В связи с этим при практической реализации алгоритмов предиктивного управления вопросам качества и точности средств прогнозирования поведения контролируемых параметров уделяется особое внимание. При этом основные проблемы динамического моделирования непрерывных технологических процессов связаны с деградацией используемых математических моделей. Данное явление обуславливается нелинейностью описываемого физико-химического процесса и, как следствие, нарушением динамических свойств и характеристик объекта при изменении технологического режима. Повысить точность моделирования процесса средствами нелинейных аппроксимирующих характеристик не представляется возможным ввиду неявного вида проецируемых зависимостей, сложности используемого математического аппарата, а также влияния нерегистрируемых воздействий на исследуемый процесс [7].

Вследствие этого основная задача поддержки и модернизации систем предиктивного управления сводится к обновлению реализованной структуры и параметрической переконфигурации многомерной динамической модели процесса под текущий технологический режим. Актуализация математической модели проводится по историческим данным, соответствующим текущему режиму объекта, по результатам как активного, так и пассивного эксперимента при наличии переходных характеристик, амплитуда которых достаточ-

но превышает флуктуацию моделируемых величин для выявления динамических свойств объекта [8]. При этом отличительная особенность динамического моделирования в задачах прикладного уровня заключается в повышенных требованиях к точности и актуальности проводимой идентификации.

Список литературы

1. Ицкович Э.Л. Современные алгоритмы автоматического регулирования и их использование на предприятиях // Автоматизация в промышленности. 2007. № 6. С. 39–44.
2. Quality control of polymer production processes / Ohshima M., Tanigaki M. // Journal of process control. 2000. Vol. 10. No. 10. P. 135-148.
3. Пигнастый О.М., Корсун Р.О. Построение кинетического уравнения производственного процесса // Автоматизированные технологии и производства. 2016. № 1 (11). С. 10–16.
4. Колодин А.А., Мельник С.А. Управление на основе прогнозирующей модели (Model Predictive Control) // Переработка природного и техногенного сырья: сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых института высоких технологий. 2018. С. 9–14.
5. Impact of MPC Embedded Performance Index on Control Quality / Domanski Pawel, Lawrynczuk Maciej // IEEE access. 2021. Vol. 9. P. 24787-24795. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3057674
6. Работников М.А., Вялых И.А., Немтин А.М. Техническое проектирование системы усовершенствованного управления установки каталитического риформинга // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2019. № 2. С. 119–132.
7. Nonlinear modeling, estimation and predictive control in APMonitor / Hedengren John D., Shishavan Reza Asgharzadeh, Powell Kody M., Edgar Thomas F. // Journal of process control. 2010. Vol. 20. P. 133-148.
8. Бильфельд Н.В. Идентификация нестационарных объектов управления средствами пассивного эксперимента // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 85–90.

Сведения об авторах

Работников Михаил Алексеевич – эксперт СУУТП, ООО «ЗапСибНефтехим», г. Тобольск. E-mail: rabotnikovma@tobolsk.sibur.ru.

УДК 656.13: 621.33

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Лимарев А.С., Мезин И.Ю., Воротников М.Ю.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. На сегодняшний день автомобиль является основным загрязнителем окружающей среды. Более половины всех выбросов приходится на долю автомобильного транспорта. Учитывая, что парк автомобилей постоянно увеличивается, актуальным является вопрос о разработке мероприятий по снижению экологического воздействия автомобилей на окружающую среду. Снижение воздействия автомобилей на окружающую среду выполняется различными способами. Одним из перспективных направлений решения вопросов в данном направлении является переход на электромобили. В работе рассматриваются вопросы о возможности и трудностях эксплуатации электромобилей в современных условиях. Для этого произведена оценка качественных характеристик электромобиля по сравнению с авто с двигателем внутреннего сгорания и выявлены основные факторы.

Ключевые слова: электромобили, электродвигатели, снижение выбросов, автомобильный транспорт, внедрение.

В настоящее время парк автомобилей постоянно увеличивается. Поскольку большая его часть оснащена двигателями внутреннего сгорания (ДВС), то это приводит также и к увеличению загрязнения атмосферы. Из-за высокой концентрации транспорта особенно остро стоит этот вопрос в крупных городах. По оценкам специалистов более половины всех выбросов приходится на долю автомобильного транспорта [1]. В этих условиях возрастает актуальность вопросов разработки мероприятий по снижению выбросов автомобильным транспортом. На сегодняшний день большинство автомобильных компаний ведут работы в этом направлении. При анализе и рассмотрении данного вопроса также необходимо учитывать сокращение запасов легкодоступной нефти, количество которой существенно сокращается за последние десятилетия.

Для снижения влияния автомобилей на окружающую среду применяют различные подходы:

- применение альтернативных источников энергии;
- снижение расхода топлива на основе точной настройки электронных систем автомобиля;
- совершенствование конструкции узлов и агрегатов автомобилей;
- разработка гибридных автомобилей;
- ужесточение требований к экологичности топлива.

Одним из перспективных направлений решения вопросов в данном направлении является переход на электромобили (ЭМ). В большинстве

случаев под электромобилем понимается автомобиль, который приводится в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от независимого источника электроэнергии (аккумуляторов, топливных элементов, конденсатора и т.д.). Работы по созданию эффективных авто на электрической тяге ведутся уже на протяжении нескольких десятков лет, но наибольшее развитие они получили только в последние годы. В значительной степени это обусловлено тем, что были разработаны способы более быстрой зарядки аккумуляторов, увеличение их ёмкости, повышение надежности и т.д. К основным качественным преимуществам электромобилей по сравнению с автомобилями на ДВС можно отнести следующие:

1. Высокий уровень безопасности. По результатам испытания электромобили показывают меньшую аварийность по сравнению с обычными автомобилями, поскольку обладают более простой конструкцией привода [2, 5].

2. Снижение шумового загрязнения. Электромобили тихо движутся и плавно разгоняются.

3. Снижение эксплуатационных расходов. Исследования, проведенные независимыми специалистами, показали, что эксплуатационные затраты на содержание электромобиля до пяти раз ниже по сравнению с автомобилями на нефтесодержащем топливе [3].

4. Экологичность. Электродвигатель характеризуется минимальным уровнем выбросов, особенно если совместит его с чистой электроэнергией, добытой с помощью солнечных, ветряных или геотермальных электростанций. В этом случае воздействие на окружающую среду стремится к

нулю. Кроме того, электромобили не нуждаются в нефтесодержащих смазочных материалах, что также благоприятно сказывается на их экологической безопасности [4].

5. Надёжность. Электромобили имеют в 4 раза меньше подвижных частей в отличие от автомобиля с ДВС [5].

6. Срок службы. Исходя из последних исследований, проводимых над литий-ионными аккумуляторами моделей Tesla Model S/X, за каждые пройденные 50000 км батарея в среднем теряет 1% ёмкости. Тем не менее, когда водитель разряжает батарею лишь частично, ожидаемый срок её службы значительно увеличивается. Кроме того, по информации блога профессора Маартена Стейнбуха модели Tesla Model S и Tesla Model X при пробеге в 240000 км способны сохранить свою ёмкость на 92% [6].

7. Рекуперация энергии торможения. В электромобилях роль генератора при рекуперации исполняет сам электромотор, в то время как на автомобиле с ДВС она возможна только при наличии дополнительного электромотора постоянного тока и блока батарей.

Вышеперечисленные преимущества позволяют говорить о перспективе перехода на электромобили. Тем не менее при развитии в этом направлении с целью обеспечения их наибольшей эффективности следует рассмотреть качества, отрицательно влияющие на их свойства. Среди них можно выделить следующие:

1. Время подзарядки. Даже быстрая зарядка на специально оборудованных станциях занимает 20-30 минут до полного заряда батареи. Сравнивая с авто на ДВС, заправка которого составляет лишь пару минут, это значительная разница по времени. Но компания Tesla придумала своё решение данной проблемы: замена батареи на полностью заряженную. Данная процедура производится на специальных станциях Tesla Supercharger и занимает около двух минут.

2. Повышение расхода энергии в холодное время года. Значительное потребление связано с необходимостью обогрева салона, что приводит к уменьшению запаса хода до 50% по сравнению с летним периодом.

3. Снижение шума. Возможное увеличение аварийности из-за бесшумной работы электродвигателей, что приводит к необходимости создания искусственных шумов, обеспечивающих возможность его своевременного обнаружения.

4. Слаборазвитая инфраструктура для зарядки аккумуляторов. На сегодняшний день в большинстве регионов страны отсутствует развитая сеть для зарядки электромобилей, что существенно усложняет их применение. Следует отметить,

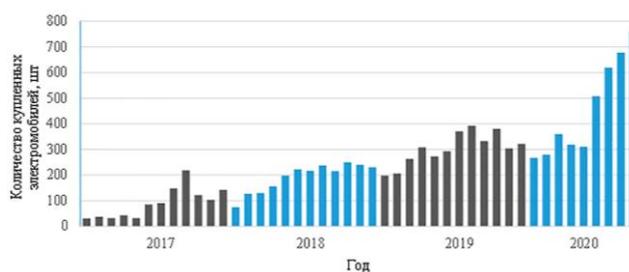
что в целом в ряде регионов реализуется комплекс мероприятий для решения данной проблемы в этом направлении, но пока эти действия не носят системный характер.

5. Переработка аккумуляторов. На данный момент утилизация аккумуляторов не имеет целесообразного решения, однако ведутся поиски и разработки их альтернативных видов.

Проанализировав положительные и отрицательные качества электромобиля, можно сказать, что, по сравнению с авто на ДВС, он имеет достаточное количество преимуществ. Но возможность массового эксплуатирования зависит ещё от некоторых факторов, таких как государство, как место развития рынка, его экономика и заинтересованность в популяризации сферы электромобилей.

В Российской Федерации рост электромобилей существенно сдерживается слаборазвитой дорожной инфраструктурой, затрудняющей их использование. На сегодняшний день, рынок электромобилей в стране не превышает 1% от всего автомобильного рынка, но электрифицированные транспортные средства становятся всё более конкурентоспособные. Прогнозирование аналитиков говорит о том, что к 2040 году около 50% новых проданных авто и около 33% мирового автопарка будут электрическими.

По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» за январь-сентябрь 2020 года в стране было куплено 3770 электрокаров с пробегом и 343 новых, рост за последний год составил 75%. Эксперты также отмечают, что, начиная с июля прошлого года, продажи электромобилей с пробегом на российском авторынке показали взрывной рост, что во многом связано с отменой таможенной пошлины при ввозе их на территорию ЕАЭС (см. рисунок) [7].



Количество купленных электромобилей по месяцам

Говоря о сфере производства электротранспорта, бесспорно, что Россия уступает другим развитым странам, таким как Япония, США и т.д. Несмотря на это, проводимые рядом предприятий конструкторские и исследовательские работы дают надежду на создание электромобиля, не уступающего зарубежным образцам. Уместенный и

производственный потенциал позволяет России выполнить эту инновационную задачу.

Важную роль играет поддержка государства, поэтому для развития данной отрасли необходимо его вмешательство через нормативные акты, проекты по благоустройству ЭЗС и т.д.

Например, в Санкт-Петербурге с 1 января 2019 года начал действовать локальный нормативный акт, обязывающий застройщиков устанавливать зарядные станции в новых жилищных комплексах. Также Совет Евразийской экономической комиссии объявил о вступлении в силу с 15 апреля 2020 года нового правила, упомянутого выше, об отмене таможенных пошлин на ввозимые автомобили с полностью электрической силовой установкой, действующее до 31 декабря 2021 года.

Оценивая состояние сферы зарядных станций на территории Российской Федерации, воспользуемся сервисом plugshare.com, на котором отмечены все точки зарядных станций. В стране менее 1 тыс. ЭЗС, из которых часть находится в личном доступе, а другая вовсе не работает, однако, по многочисленным прогнозам, в ближайшие годы количество зарядных станций вырастет в два-три раза. На данный момент компания «РОССЕТИ» последовательно реализует Всероссийскую программу развития зарядной инфраструктуры с целью создания условий для внедрения автономного, общественного и частного электротранспорта, поэтому в центральных регионах реализуются следующие проекты:

1. «МОЭСК-EV» – публичная сеть зарядных станций в Москве для электромобилей, где зарядка авто производится бесплатно при получении специальной карты [8].

2. «Ленэнерго» – публичная сеть зарядных станций в Санкт-Петербурге. Ещё с 2014 года занимается развитием ЭЗС. На данный момент установлено 46 бесплатных станций по Ленинградской области [9].

Данные проекты, на сегодняшний день, могут обеспечить штатное эксплуатирование авто внутри определённого региона, но не в глобальном плане, рассматривая целую страну.

В Российской Федерации могут быть реализованы следующие подходы развития инфраструктурной среды для электромобилей:

- субсидии для различных видов зарядного оборудования;
- налоговые льготы для владельцев и операторов зарядной инфраструктуры;
- скидки по тарифу на электроэнергию;
- стимулирование проведения исследований и разработок в целях адаптации работы зарядной инфраструктуры к российским условиям эксплуатации.

Исходя из вышесказанного, сегмент электромобильного рынка в России находится на начальной стадии – зарождения. ЭМ может частично решить экологическую проблему, так как его эксплуатация, начиная с производства и заканчивая утилизацией, имеет на 25% меньше вредных выбросов, сравнивая с бензиновым двигателем, даже если для выработки электроэнергии будут использоваться только угольные станции – самые вредные [10]. Кроме того, электромобиль может быть абсолютно экологически чистым, если учёным удастся разработать способ утилизации отработанных аккумуляторов, и энергия для ЭМ будет добываться незагрязняющими источниками.

Электроавтомобили имеют большой потенциал по обеспечению потребностей человека в экологически чистых средствах передвижения, однако его реализация на территории РФ имеет ряд проблем, связанных с устройством государства: большая территория, как следствие, большая протяжённость дорог, привязанность экономики к ископаемым ресурсам и т.д. Вследствие этого реализация данного вида транспорта почти невозможна без поддержки государства, которое будет являться прародителем данной бизнес-сферы.

Список литературы

1. Аксенов И.Я., Аксенов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. М.: Транспорт, 1986. 176 с.
2. Tesla Model S получила высшие рейтинги безопасности. Электронная версия журнала «За рулем». [Электронный ресурс] URL: https://www.zr.ru/content/news/567354-tesla_model_%20s_%20poluchila_%20vysshije_%20rejtingi_bezopasnosti/ (дата обращения 22.11.2020).
3. Петров В.Ю. Легковой автотранспорт будущего: электромобили, водородные или традиционные автомобили? // Автомобильная промышленность. 2009. №5. С. 7-11.
4. Анализ возможностей снижения экологического воздействия автомобилей на окружающую среду / А.С. Лимарев, Ю.В. Сомова, А.О. Коваленко, Е.А. Очкова, З.С. Акманова // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2016. Т. 6. № 1. С. 47–50.
5. Игнатович В.М., Ройз Ш.С. Электрические машины и трансформаторы: учебное пособие для академического бакалавриата. М., 2016. 181 с.
6. Блог профессора Мартена Стейнбуха [Электронный ресурс]. URL: <https://maartensteinbuch.com/2015/01/24/tesla-model-s/> (дата обращения 22.11.2020).
7. АВТОСТАТ – аналитическое агентство. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autostat.ru/infographics/46211/> (дата обращения 12.12.2020).
8. РОССЕТИ. Московский регион (ПАО «МОЭСК») [Электронный ресурс]. URL: <https://rossetimr.ru/#> (дата обращения: 28.11.2020).

9. ПАО «Ленэнерго» [Электронный ресурс]. URL: <https://rosseti-lenenergo.ru/ev/> (дата обращения: 28.11.20).
10. Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/p..> (дата обращения 22.11.2020).

Сведения об авторах

Лимарев Александр Сергеевич – канд. техн. наук, доц., доц. каф. ТССА, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID ID 0000-0002-1499-4988. E-mail: aslimarev@mail.ru

Мезин Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТССА, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID ID 0000-0002-4074-9097. E-mail: meziniy1@mail.ru

Воротников Михаил Юрьевич – студент гр. ТЭТп-19, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: vorotnikov_1996@inbox.ru

УДК 517.642.8

РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАДАЧ НА КВАНТОВЫХ ГРАФАХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Кадченко С.И.¹, Ставцева А.В.², Рязанова Л.С.¹

¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

²ЗАО «Урал-Омега», Магнитогорск

Аннотация. В связи с необходимостью создания новых технологий в науке и технике возникает потребность в разработке вычислительно эффективных методов решения спектральных задач для дискретных полуограниченных операторов, заданных на множествах различной структуры. Рассматриваемое в статье направление связано с квазиодномерным движением π -электронов в ароматических соединениях. Считая ширину трубок, в которых двигаются электроны малыми, можно считать, что они двигаются по сети, состоящей из одномерных проводников. В статье изложены основные положения новых вычислительных методов решения обратных спектральных задач для дискретных полуограниченных операторов, заданных на квантовых графах, с помощью которых моделируются системы в молекулах ароматических соединений. Проведены вычислительные эксперименты для атома нафталина.

Ключевые слова: квантовые графы, сепарабельные гильбертовы пространства, дискретные полуограниченные операторы, собственные функции и собственные значения операторов.

Введение

Развитие новых численных методов, позволяющих вычислительно эффективно решать, обратные спектральные задачи, заданных на квантовых графах, связано с потребностью разработки новых технологий в науке и технике [1]. Одно из таких направлений определяется необходимостью моделирования квазиодномерных движений π -электронов в ароматических соединениях [2–4].

В работах [5–15] разработаны методы вычисления собственных значений и решения обратных спектральных задач для дискретных полуограниченных операторов, рассматриваемых на множествах различной природы. В дальнейшем будем использовать алгоритм решения обратных спектральных задач, заданных на квантовых графах, описанный в статье [15].

Введем конечный ориентированный связанный граф $G = G(V, E)$ с соединенными ребрами, множеством вершин $V = \{V_i\}_{i=1}^{j_0}$ и множеством ребер $E = \{E_j\}_{j=1}^{j_0}$. Пусть каждое ребро E_j , $j = \overline{1, j_0}$ графа G имеет длину l_j . Зададим на G дискретный полуограниченный вектор-оператор $L = (L_1, L_2, \dots, L_{j_0})$ действующий в гильбертовом пространстве

$$H = L^2(G) = \{G = (G_1, G_2, \dots, G_{j_0}), G_j \in L^2(0, l_j), j = \overline{1, j_0}\}.$$

Скалярное произведение в этом пространстве введено по правилу

$$(g, f) = \sum_{j=1}^{j_0} \int_0^{l_j} g_j f_j ds_j, \quad g, f \in H. \quad (1)$$

Выше через L_j обозначены операторы, заданные в $L^2[0, l_j]$, $j = \overline{1, j_0}$.

Далее будем считать, что ψ -волновая вектор-функция графа G , а ψ_j – ее сужение на ребро E_j . Вектор-оператор L является оператором Шрёдингера, действующий на функциях гильбертова пространства H по правилу

$$L_j \psi_j = -\frac{d^2 \psi_j(s_j)}{ds_j^2} + v_j(s_j) \psi_j(s_j), \quad s_j \in [0, l_j], \quad j = \overline{1, j_0}. \quad (2)$$

Здесь $\psi = (\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{j_0})$, $\psi_j, v_j(s_j) \in W_2^2[0, l_j]$.

Сначала на графе G рассмотрим прямую спектральную задачу для оператора L :

$$-\frac{d^2 \psi_j(s_j)}{ds_j^2} + v_j(s_j) \psi_j(s_j) = \mu \psi_j(s_j), \quad (3)$$

$$\sum_{E_k \in E^{\alpha}(V_s)} \frac{d\psi_k}{ds_k} \Big|_{s_k=0} - \sum_{E_m \in E^{\omega}(V_s)} \frac{d\psi_m}{ds_m} \Big|_{s_m=l_m}, \quad (4)$$

$$\psi_i(0) = \psi_k(0) = \psi_m(0) = \psi_h(l_h), \quad (5)$$

где $E_i, E_k \in E^\alpha(V_s)$, $E_m, E_h \in E^\omega(V_s)$, $E^\alpha(V_s)$ – множество дуг с началом в вершине V_s , $E^\omega(V_s)$ – множество дуг с началом в вершине V_s . Граничные условия (4) означают, что потоки через вершины графа равны нулю, а (5) – что функции ψ_j в каждой вершине должны быть непрерывны. Для нахождения собственных значений спектральной задачи (3) – (4) будем использовать методику, разработанную в статье [15]. Для построения ортонормированной системы вектор-функций, которая удовлетворяет граничным условиям (4), (5), рассмотрим спектральную задачу

$$-\frac{d^2 \varphi_j(s_j)}{ds_j^2} = \lambda \varphi_j(s_j), \quad (6)$$

$$\sum_{E_k \in E^\alpha(V_s)} \left. \frac{d\varphi_k}{ds_k} \right|_{s_k=0} - \sum_{E_m \in E^\omega(V_s)} \left. \frac{d\varphi_m}{ds_m} \right|_{s_m=l_m}, \quad (7)$$

$$\varphi_i(0) = \varphi_k(0) = \varphi_m(0) = \varphi_h(l_h), \quad (8)$$

Обозначим через $\{\lambda_n\}_{n=1}^\infty$ – множество собственных значений (6)-(8), занумерованных в порядке неубывания их величин, а собственные функции через $\{\varphi_n = (\varphi_{1n}, \varphi_{2n}, \dots, \varphi_{j_n n})\}_{n=1}^\infty$.

Если граф G конструктивно сложен и число его ребер велико, то находить собственные значения и собственные функции задачи (6)-(8) в ручном режиме сложно. Поэтому в среде Maple был написан пакет программ, позволяющий в автоматическом режиме по известным характеристикам графа G находить собственные значения и собственные вектор-функции (6)-(8).

Для наглядности этой методики проиллюстрируем ее на примере молекулы нафталина $C_{10}H_8$. Так как длины всех ребер для молекулы нафталина одинаковые, то можно считать, что $l_j = 1$ для всех $j = \overline{1, j_0}$, $j_0 = 11$ (см. рисунок).

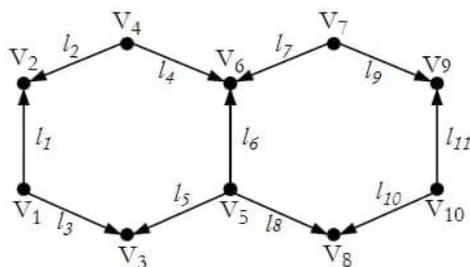


Рис. 1. Разбиение ориентированного графа на вершины и ребра для модели молекулы нафталина

Граничные условия (7), (8) математической модели нафталина, полученные в автоматическом режиме, имеют вид

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) = \varphi_3(0), \varphi_2(0) = \varphi_4(0), \varphi_7(0) = \varphi_9(0), \varphi_{10}(0) = \varphi_{11}(0), \\ \varphi_1(1) = \varphi_2(1), \varphi_3(1) = \varphi_5(1), \varphi_8(1) = \varphi_{10}(1), \varphi_9(1) = \varphi_{11}(1), \\ \varphi_5(0) = \varphi_8(0) = \varphi_6(0), \varphi_4(1) = \varphi_7(1) = \varphi_6(1), \quad (9) \\ \varphi_1'(0) = \varphi_3'(0), \varphi_1'(1) = \varphi_2'(1), \varphi_2'(0) = \varphi_4'(0), \varphi_3'(1) = \varphi_5'(1), \\ \varphi_4'(1) = \varphi_6'(1) = \varphi_7'(1), \varphi_5'(0) = \varphi_6'(0) = \varphi_8'(0), \\ \varphi_7'(0) = \varphi_9'(0), \varphi_8'(1) = \varphi_{10}'(1), \varphi_9'(1) = \varphi_{11}'(1), \varphi_{10}'(0) = \varphi_{11}'(0). \end{aligned}$$

Обозначим через $\{\lambda_n\}_{n=1}^\infty$ собственные значения спектральной задачи (6)-(8), занумерованные в порядке невозрастания их величин. Любые значения λ_n можно найти при решении трансцендентного уравнения

$$9 \sin(\sqrt{\lambda}) + 17 \sin(3\sqrt{\lambda}) + 25 \sin(5\sqrt{\lambda}) + 17 \sin(7\sqrt{\lambda}) + 9 \sin(9\sqrt{\lambda}), \quad (10)$$

которое получено в автоматическом режиме. Соответствующие им компоненты φ_{jn} собственных вектор-функций φ_n имеют вид

$$\begin{aligned} \varphi_{jn} = C_n \left(A_{jn} \sin(\sqrt{\lambda} s_j) + B_{jn} \cos(\sqrt{\lambda} s_j) \right), \\ j = \overline{1, j_0}, n = \overline{1, \infty}. \quad (11) \end{aligned}$$

Здесь коэффициенты A_{jn} и B_{jn} , найденные в автоматическом режиме, имеют вид

$$\begin{aligned} A_{1n} &= 4 \left(\sin(2\sqrt{\lambda_n}) + \sin(4\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ B_{1n} &= 2 \left(11 + 8 \cos(4\sqrt{\lambda_n}) + 16 \cos(2\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ A_{2n} &= 2 \left(6 \sin(2\sqrt{\lambda_n}) + 3 \sin(6\sqrt{\lambda_n}) + 7 \sin(4\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ B_{2n} &= 2 \left(9 + 3 \cos(6\sqrt{\lambda_n}) + 7 \cos(4\sqrt{\lambda_n}) + 16 \cos(2\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ A_{3n} &= -A_{1n}, B_{3n} = B_{1n}, A_{4n} = -A_{2n}, B_{4n} = B_{2n}, \\ A_{5n} &= 2 \left(9 \sin(4\sqrt{\lambda_n}) + 5 \sin(6\sqrt{\lambda_n}) + 8 \sin(2\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ B_{5n} &= 2 \left(7 + 14 \cos(2\sqrt{\lambda_n}) + 5 \cos(6\sqrt{\lambda_n}) + 9 \cos(4\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ A_{6n} &= -2 \left(\sin(6\sqrt{\lambda_n}) + \sin(4\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ B_{6n} &= 2 \left(7 + 14 \cos(2\sqrt{\lambda_n}) + 5 \cos(6\sqrt{\lambda_n}) + 9 \cos(4\sqrt{\lambda_n}) \right), \\ A_{7n} &= 21 \sin(2\sqrt{\lambda_n}) + 9 \sin(8\sqrt{\lambda_n}) + \\ &+ 28 \sin(4\sqrt{\lambda_n}) + 20 \sin(6\sqrt{\lambda_n}), \\ B_{7n} &= 10 + 9 \cos(8\sqrt{\lambda_n}) + 14 \cos(6\sqrt{\lambda_n}) + \\ &+ 20 \cos(2\sqrt{\lambda_n}) + 15 \cos(2\sqrt{\lambda_n}), \end{aligned}$$

$$A_{8n} = 8(2\sin(2\sqrt{\lambda_n}) + \sin(6\sqrt{\lambda_n}) + 2\sin(4\sqrt{\lambda_n})),$$

$$B_{8n} = B_{6n},$$

$$A_{9n} = -A_{7n}, B_{9n} = B_{7n},$$

$$A_{10n} = 13\sin(2\sqrt{\lambda_n}) + 9\sin(8\sqrt{\lambda_n}) + 21\sin(4\sqrt{\lambda_n}) + 17\sin(6\sqrt{\lambda_n}), B_{10n} = 1,$$

$$A_{11n} = -A_{10n}, B_{11n} = 1, C_n = B_{11n}.$$

Система $\{\varphi_n\}_{n=1}^\infty$ собственных вектор-функций ортогональна на графе G . Множители C_n , входящие в (11), находятся из условия нормировки. Используя линейные формулы, полученные в статье [15], приближенные собственные значения $\tilde{\mu}_n$ спектральной задачи (3)-(5) можно вычислять по формулам

$$\tilde{\mu}_n(n) = \lambda_n + \sum_{j=1}^{11} \chi_j(s) \int_0^1 \varphi_{jn}^2(s) v_j(s) ds + \tilde{\delta}_n, \quad n \in N, \quad (12)$$

где $\tilde{\delta}_n = \sum_{k=1}^{n-1} [\hat{\mu}_k(n-1) - \hat{\mu}_k(n)]$, $\hat{\mu}_k(n)$ - n -ые приближения по Галеркину k -го собственного значения,

$$\chi_j(s) = \begin{cases} 1, & s \in [0, l_j], \\ 0, & s \in [0, l_j]. \end{cases}$$

По формулам (12) можно вычислить приближенные значения прямой спектральной задачи (3)-(5), если известны все функции v_j .

Обратные спектральные задачи на графах

На основе краевой задачи (3)-(6) на графе G рассмотрим обратную спектральную задачу. Будем считать, что либо часть, либо все функции v_j в (3) не заданы. Восстановим значения v_j в узлах дискретизации, используя известные собственные значения $\{\lambda_n\}_{n=1}^\infty$ и соответствующие им собственные вектор-функции $\{\varphi_n\}_{n=1}^\infty$ невозмущенной задачи (6)-(8), а также необходимое количество приближенных собственных значений $\tilde{\mu}_n$ возмущенной задачи (3)-(6), принадлежащих отрезку $[c, d]$. Используя (12), построим интегральное уравнение Фредгольма первого рода:

$$\int_0^1 \sum_{j=1}^{11} \chi_j(s) K_j(x, s) v_j(s) ds = \tilde{F}(x), \quad x \in [c, d]. \quad (13)$$

$$\text{Здесь } K_j(x_n, s_j) = \varphi_{jn}^2(s_j), \quad \tilde{F}(x_n) = \tilde{\mu}_n - \lambda_n - \tilde{\delta}_n.$$

Пусть $K_j(x, s_j)$ непрерывные и замкнутые в $\Pi = [c, d] \times [0, 1]$, $\tilde{F}(x) \in L^2[c, d]$. Задача решения интегрального уравнения Фредгольма первого ро-

да (13) является некорректно поставленной. Для построения его приближенных решений \tilde{v}_j^α используем метод регуляризации Тихонова, который приводит к системе уравнений [15]

$$\begin{cases} \alpha \chi_1(t) [\tilde{v}_1^\alpha(t) - q(\tilde{v}_1^\alpha)''(t)] + \\ + \sum_{j=1}^{11} \int_0^1 \chi_j(s) R_{j1}(s, t) \tilde{v}_j^\alpha(s) ds = \tilde{F}_1(t), \\ \alpha \chi_1(t) [\tilde{v}_2^\alpha(t) - q(\tilde{v}_2^\alpha)''(t)] + \\ + \sum_{j=1}^{11} \int_0^1 \chi_j(s) R_{j2}(s, t) \tilde{v}_j^\alpha(s) ds = \tilde{F}_2(t), \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \alpha \chi_{j_0}(t) [\tilde{v}_{11}^\alpha(t) - q(\tilde{v}_{11}^\alpha)''(t)] + \\ + \sum_{j=1}^{11} \int_0^1 \chi_j(s) R_{j11}(s, t) \tilde{v}_j^\alpha(s) ds = \tilde{F}_{11}(t), \end{cases} \quad (14)$$

где

$$\int_0^1 R_{ji}(s, t) \tilde{v}_j^\alpha(s) ds = \int_0^1 \tilde{v}_j^\alpha(s) \left[\int_c^d K_j(x, s) K_i(x, t) dx \right] ds, \\ j, i = \overline{1, 11},$$

$$\tilde{F}_j(t) = \int_c^d K_j(x, s) \tilde{F}(x) dx, \quad j = \overline{1, 11}, \quad t \in [0, 1].$$

Для вычисления приближенных значений потенциалов \tilde{v}_j^α в узлах дискретизации используются система уравнений (14) и метод квадратур.

Вычислительный эксперимент

Используя систему уравнений (14), проведены многочисленные вычислительные эксперименты по восстановлению значений потенциалов v_j , заданных на ребрах графа G . В табл. 1-11 показаны результаты восстановления потенциалов, заданных на ребрах графа: $v_1(s) = s^2 + 5s$, $v_2(s) = s^2 + 5s + 1$, $v_3(s) = s^2 + 5s - 1$, $v_4(s) = 5s + 1$, $v_5(s) = 5s - 1$, $v_6(s) = 0$, $v_7(s) = 5s + 1$, $v_8(s) = 5s - 1$, $v_9(s) = s^2 + 5s + 1$, $v_{10}(s) = s^2 + 5s - 1$, $v_{11}(s) = s^2 + 5s$.

В табл. 1-11 приведены результаты восстановления значений потенциалов v_j на ребрах графа в узлах дискретизации. Проведенные вычислительные исследования показали высокую вычислительную эффективность разработанной методики решения обратных спектральных задач для возмущенных самосопряженных операторов, заданных на геометрических графах.

Таблица 1

n	v_{1n}	\tilde{v}_{1n}^α	$ v_{1n} - \tilde{v}_{1n}^\alpha $
1	0,00000	0,07227	0,07272
2	1,04000	1,10000	0,06000
3	2,16000	2,18000	0,02000
4	3,36000	3,34000	0,02000
5	4,64000	4,58000	0,06000
6	6,00000	5,92773	0,07227

Таблица 6

n	v_{6n}	\tilde{v}_{6n}^α	$ v_{6n} - \tilde{v}_{6n}^\alpha $
1	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,00000	0,00000	0,00000
3	0,00000	0,00000	0,00000
4	0,00000	0,00000	0,00000
5	0,00000	0,00000	0,00000
6	0,00000	0,00000	0,00000

Таблица 2

n	v_{2n}	\tilde{v}_{2n}^α	$ v_{2n} - \tilde{v}_{2n}^\alpha $
1	1,00000	1,07227	0,07272
2	2,04000	2,10000	0,06000
3	3,16000	3,18000	0,02000
4	4,36000	4,34000	0,02000
5	5,64000	5,58000	0,06000
6	7,00000	6,92773	0,07227

Таблица 7

n	v_{7n}	\tilde{v}_{7n}^α	$ v_{7n} - \tilde{v}_{7n}^\alpha $
1	1,00000	1,02273	0,02273
2	2,00000	2,00000	0,00000
3	3,00000	3,00000	0,00000
4	4,00000	4,00000	0,00000
5	5,00000	5,00000	0,00000
6	6,00000	5,97727	0,02273

Таблица 3

n	v_{3n}	\tilde{v}_{3n}^α	$ v_{3n} - \tilde{v}_{3n}^\alpha $
1	-1,00000	-0,92773	0,07272
2	0,04000	0,10000	0,06000
3	1,16000	1,18000	0,02000
4	2,36000	2,34000	0,02000
5	3,64000	3,58000	0,06000
6	5,00000	4,92773	0,07227

Таблица 8

n	v_{8n}	\tilde{v}_{8n}^α	$ v_{8n} - \tilde{v}_{8n}^\alpha $
1	-1,00000	-0,97727	0,02273
2	0,00000	0,00000	0,00000
3	1,00000	1,00000	0,00000
4	2,00000	2,00000	0,00000
5	3,00000	3,00000	0,00000
6	4,00000	3,97727	0,02273

Таблица 4

n	v_{4n}	\tilde{v}_{4n}^α	$ v_{4n} - \tilde{v}_{4n}^\alpha $
1	1,00000	1,02273	0,02273
2	2,00000	2,00000	0,00000
3	3,00000	3,00000	0,00000
4	4,00000	4,00000	0,00000
5	5,00000	5,00000	0,00000
6	6,00000	5,97727	0,02273

Таблица 9

n	v_{9n}	\tilde{v}_{9n}^α	$ v_{9n} - \tilde{v}_{9n}^\alpha $
1	1,00000	1,07227	0,07272
2	2,04000	2,10000	0,06000
3	3,16000	3,18000	0,02000
4	4,36000	4,34000	0,02000
5	5,64000	5,58000	0,06000
6	7,00000	6,92773	0,07227

Таблица 5

n	v_n	\tilde{v}_{5n}^α	$ v_{5n} - \tilde{v}_{5n}^\alpha $
1	-1,00000	-0,97727	0,02273
2	0,00000	0,00000	0,00000
3	1,00000	1,00000	0,00000
4	2,00000	2,00000	0,00000
5	3,00000	3,00000	0,00000
6	4,00000	3,97727	0,02273

Таблица 10

n	v_{10n}	\tilde{v}_{10n}^α	$ v_{10n} - \tilde{v}_{10n}^\alpha $
1	-1,00000	-0,92773	0,07272
2	0,04000	0,10000	0,06000
3	1,16000	1,18000	0,02000
4	2,36000	2,34000	0,02000
5	3,64000	3,58000	0,06000
6	5,00000	4,92773	0,07227

Таблица 11

n	v_{11n}	\tilde{v}_{11n}^α	$ v_{11n} - \tilde{v}_{11n}^\alpha $
1	0,00000	0,07227	0,07227
2	1,04000	1,10000	0,06000
3	2,16000	2,18000	0,02000
4	3,36000	3,34000	0,02000
5	4,64000	4,58000	0,06000
6	6,00000	5,92773	0,07227

При этом разработанная методика позволяет восстановить потенциалы на ребрах графах, которые моделируют молекулы гораздо более сложной структуры, чем нафталин.

Список литературы

1. Лобанов И.С., Трифанова Е.С. Прямые и обратные задачи в модели квантовых графов // Наносистемы: физика, химия, математика. 2012. Т. 3. №5. С. 6–32.
2. Лобанов И.С., Попов И.Ю. Рассеяние на стыке нанотрубок «зигзаг» и «кресло» // Наносистемы: физика, химия, математика. 2012. Т. 3. № 2. С. 4-26.
3. Golubok A.O., Popov I.U., Mukhin I.S., Lobanov I.S. Creation and study of 2D and 3D carbon nanographs // Physica E. 2012. V. 44. P. 976–980.
4. Korotyaev E., Lobanov I. Schrodinger operators on zigzag graphs // Annales Henri Poincare. 2007. V. 8, №. 6. P. 1151-1176.
5. Кадченко С.И., Какушкин С.Н. Численные методы нахождения собственных чисел и собственных функций возмущенных самосопряженных операторов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2012. № 27(286). С. 45-57.
6. Кадченко С.И., Рязанова Л.С. Численный метод нахождения собственных значений дискретных полуограниченных снизу операторов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2011. № 17(234). С. 43-51.
7. Kadchenko S.I., Zakirova G.A. A numerical method for inverse spectral problems // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Математическое моделирование и программирование. 2015. Т. 3. С. 138-141.
8. Кадченко С.И., Какушкин С.Н. Алгоритм нахождения собственных функций возмущенных самосопряженных операторов методом регуляризованных следов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2012. № 40(299). С. 83-88.
9. Кадченко С.И. Численный метод решения обратных задач, порожденных возмущенными самосопряженными возмущенными операторами, методом регуляризованных следов // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. 2013. № 6(107). С. 23-30.
10. Кадченко С.И. Численный метод решения обратных спектральных задач, порожденных возмущенными самосопряженными операторами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2013. Т. 6. № 4. С. 15-25.
11. Кадченко С.И., Какушкин С.Н. Вычисление значений собственных функций дискретных полуограниченных операторов методом регуляризованных следов // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. 2012. № 6(97). С. 13-21.
12. Кадченко С.И. Алгоритм решения обратных задач, порожденных возмущенными самосопряженными операторами // Актуальные проблемы современной науки и техники и образования. 2015. Т. 3. С. 138-141.
13. Обратная спектральная задача определения неоднородности упругого стержня / С.И. Кадченко, Г.А. Закирова, Л.С. Рязанова, О.А. Горшина // Актуальные проблемы современной науки и техники и образования. 2018. Т. 9, № 2. С. 42-45.
14. Кадченко С.И., Рязанова Л.С. Нахождение собственных значений спектральных задач, порожденных операторам Штурма-Лиувилля произвольного четного порядка // Современные достижения университетских школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции. 2020. С. 145-152.
15. Кадченко С.И., Пуршева А.В., Рязанова Л.С. Решение обратных спектральных задач для дискретных полуограниченных операторов, заданных на геометрических графах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2020. Т. 13. № 4. С. 19-32.

Сведения об авторах

Кадченко Сергей Иванович – д-р физ.-мат. наук, проф., проф. каф. ПМиИ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sikadchenko@mail.ru.

Ставцева Анастасия Викторовна – специалист, ЗАО «Урал-Омега», г. Магнитогорск.

Рязанова Любовь Сергеевна – канд. пед. наук, доц. каф. ПМиИ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ryazanova2006@rambler.ru.

УДК 378

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Сергеева Е.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В реалиях современного мира для выпускников технических вузов необходимо знание математики на высоком уровне, а также развитая компетентность для решения разнообразных прикладных задач математическими методами. Таким образом, уровень полученного образования в современных условиях не определяется только объемом знаний, умений и навыков, студент должен иметь развитую математическую компетентность. Применение компетентностного подхода в изложении курса высшей математики в вузе подразумевает организацию образовательного процесса, направленного на активное применение проблемно-исследовательских, практико-ориентированных методов, предусматривается частое применение развивающих, проектно-исследовательских технологий, при этом акцент в подготовке делается на компетентность каждого студента создавать и осваивать новые наукоемкие технологии, осуществлять трансфер технологий.

Ключевые слова: подготовка в техническом университете, математика, математическая компетентность студента, метод проектов.

Наше время – время существенных изменений в системе преподавания высшей математики в вузе.

Первой особенностью преподавания математики в вузе в современных условиях является необходимость развития у студентов современного мышления, характеризующегося мобильностью, динамизмом, конструктивностью, умения в любых жизненных ситуациях брать на себя ответственность за принятые решения и их возможные последствия. При этом, как и много лет назад, будущий инженер должен уметь:

- 1) поставить инженерную задачу;
- 2) построить для ее решения математическую модель;
- 3) проанализировать и найти самый оптимальный метод решения;
- 4) произвести необходимые вычисления;
- 5) проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Для реализации данных задач требуется качественная математическая подготовка, а также высокий уровень развития математической компетентности для решения разнообразных прикладных задач математическими методами. Иначе говоря, уровень образованности в современном обществе не определяется только объемом знаний, умений и навыков, студент должен иметь развитую математическую компетентность. Математическую компетентность студента техни-

ческой специальности вуза мы подробно рассматривали ранее [1].

Поэтому в настоящее время актуальна задача модернизации отечественной системы преподавания высшей математики в вузе с применением компетентностного подхода.

Применение в преподавании высшей математики в вузе компетентностного подхода подразумевает при организации образовательного процесса усиление проблемно-исследовательской, практико-ориентированной направленности, предусматривается частое применение развивающих проектно-исследовательских технологий, при этом одним из главных аспектов в подготовке является компетентность в освоении и создании наукоемких технологий, умения осуществлять перенос технологий. Для этого требуется качественная подготовка по фундаментальным вопросам высшей математики, развитые математические способности, умение решать разнообразные прикладные задачи математическими методами.

Для изучения высшей математики на серьезном уровне необходима хорошая школьная подготовка по этому предмету. Вот здесь у многих студентов возникают проблемы, им трудно осваивать вузовскую программу, т.к. они имеют слабую школьную подготовку по математике. В результате многие студенты, а затем и инженеры с трудом анализируют, решают научно-технические задачи в своей профессиональной деятельности. Студенты не отслеживают элементарные ошибки в своих вычислениях, т.к. результаты инженерных

расчетов получают с использованием пакетов прикладных математических программ, сами вычислять не могут, а поэтому приблизительно не представляют, какие результаты должны получить в расчетах. В результате не могут проанализировать полученный результат и сделать выводы, что, в конечном итоге отрицательно сказывается на всей их выполненной работе.

Из всего вышесказанного очевидно, что аудиторных часов на математическую подготовку студентов должно отводиться больше, чем раньше.

Но второй особенностью современного преподавания математики является как раз сокращение аудиторных часов, причем часы сокращаются с каждым годом все больше и больше.

Возникает проблема, как за время, отведенное учебными планами на высшую математику, суметь разобрать со студентами фундаментальные вопросы этого курса и рассмотреть прикладные задачи? Конечно, традиционные лекционные занятия и обычные практические занятия, когда отрабатываются навыки решения задач, в современных условиях невозможны, на это нет аудиторных часов. К тому же уровень школьных математических знаний у многих студентов очень низок. В данных условиях необходимы для разработки и применения новые формы и методы обучения.

В сложившейся ситуации мы предлагаем, из-за отсутствия времени, проводить лекции в установочном виде, т. е. лекции с основными определениями, теоремами, их доказательствами выкладываются студентам в электронном виде заранее на образовательном портале. На лекции в аудитории коротко разбираются лишь ключевые понятия и важнейшие результаты. Часть практических занятий тоже необходимо заранее выкладывать на образовательный портал для самостоятельного изучения студентами. Но при таком подходе на самостоятельный разбор студентами лекционного и практического материала, с одной стороны, студенты должны иметь приличную базовую школьную подготовку по математике, с другой – у студентов должна быть высокая мотивация на учебу, высокий уровень сознательности. Такой вариант обучения возможен, но большая нагрузка по самостоятельной работе на портале ложится на плечи студентов, студенты должны быть сознательными, «жадными до знаний».

Для создания условий самостоятельного изучения материала по математике студентами можно разработать и применить учебно-методические комплексы, состоящие из лекций, практических занятий, тестов и практических задач прикладного характера, на базе которых предлагаются разнообразные материалы для самообразования и самоконтроля, творческие задания.

Используя такие методические разработки, лекция и практическое занятие по математике превратятся из пассивного в активный диалог преподавателя и студентов по изучаемой теме, это позволит сократить аудиторное время изучения темы, направит самостоятельную работу студентов в нужное русло. Но, это подойдет только для групп, где студенты заинтересованы в обучении и имеют хорошую базовую школьную подготовку по предмету. В таких группах, в силу сокращения аудиторных часов, встает необходимость в пересмотре привычных традиционных практических занятий. Времени на качественное изучение тем нет, но его хватит для обучения студентов решению задач с помощью математических пакетов, например MAPLE, MATHCAD и др.

Интенсивное развитие систем компьютерной алгебры и совершенствование компьютерных математических систем предполагает расширение сферы их применения в научных инженерных исследованиях. Конечно, хочется, чтобы студенты умели решать математические задачи вручную, на бумаге, но на это нет в современных рабочих программах аудиторных часов. Для качественного обучения студентов необходимо, чтобы применение математических пакетов было лишь как «помощь» при решении трудных задач, и прекрасно, когда такая помощь есть. Например, при изучении темы «Аналитическая геометрия» построение поверхностей студентам дается с трудом, а теперь подчас эта тема самостоятельно рассматривается студентами, поэтому им стало еще сложнее построить пересечение нескольких поверхностей. Те же проблемы с построением поверхностей появляются у студентов и при изучении темы «Кратные интегралы». Без правильного построения поверхностей студенты не могут правильно расставить пределы интегрирования. В данном случае на помощь студентам при построении тел приходит пакет MAPLE. Данный пакет дает возможность даже очень «слабым» студентам справиться с построением. Просто записав уравнения, они сразу получают тело, которое можно покрутить вдоль какой-либо оси и увидеть, что получится в проекциях. За количество аудиторных часов, отводимое на изучение математики в вузе, можно, таким образом, лишь научить производить инженерные расчеты, полученные с использованием пакетов прикладных математических программ. Но сами студенты получают минимальные знания и навыки по построению и решению задач без пакетов программ.

Также для развития математической компетентности мы предлагаем на практических занятиях по математике применять метод проектов. В основе метода проектов лежит: 1) развитие компе-

тентности в сфере самостоятельной познавательной деятельности (развитие познавательных навыков, умение самостоятельно ориентироваться в информационном пространстве, умение самостоятельно добывать и конструировать знания и т.д.); 2) развитие критического мышления [2].

Метод проектов предусматривает использование интегрированных знаний из разных областей науки, техники, технологий, искусства. В самостоятельную работу студентов мы предлагаем включить такие виды проектов, как: опорные конспекты, рефераты, тематические проекты и их защиты, мультимедийные презентации [3].

Из всего вышесказанного мы можем сделать вывод, что для современного преподавания математики в вузе необходимо увеличение количества аудиторных часов, а не их сокращение, т.к. кроме базовой подготовки по математике необходимо акцент делать на практико-ориентированные, развивающие, проектно-исследовательские технологии. Необходимо активно применять метод проектов на занятиях, обучать студентов решению задач с помощью математических пакетов, таких как MAPLE, MATHCAD и др., но при этом не переборщить с математическими пакетами, помнить,

что у студентов должна быть хорошая и базовая подготовка по высшей математике.

Список литературы

1. Сергеева Е.В. Критерии, определяющие уровень развития математической компетентности студентов [Электронный ресурс] // Мир науки: интернет – журнал. 2016. Т.4. № 1. Режим доступа: <http://mir-nauki.com/PDF/37PDMN116.pdf>.
2. Сергеева Е.В. Дистанционное обучение при изучении математики // Проблемы современного педагогического образования. 2019. № 62-1. С. 266-268. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37032627>.
3. Sergeeva E.V. Project activity of students of construction specialties in universities IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE) (ICCATS 2018) vol 451. 012119. 2018. Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/451/1/012119>.
4. Сиденко А.С. Метод проектов: история и практика применения // Завуч. 2003. № 6. С. 96-111.
5. Чечель И.Д. Исследовательские проекты в практике школы // Управление исследовательской деятельностью педагога и учащегося в современной школе. М.: Сентябрь, 1998. С. 83-128.

Сведения об авторах

Сергеева Елена Владимировна – канд. пед. наук, доцент каф. ПМиИ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sew1108@yandex.ru

УДК 669.15:539.382;539.24

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ ШТАМПОВКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ГОРЯЧЕОЦИНКОВАННОГО ЛИСТА

Белов В.К.¹, Кривко О.В.¹, Губарев Е.В.¹, Демчук Ф.А.², Погонин Е.Ю.², Самородова Э.Г.³¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», НИЦ «Микротопографии», Магнитогорск²NISSAN MANUFACTURING, Санкт-Петербург³ПАО «ММК», Магнитогорск

Аннотация. Экспериментально показано, что процессы формирования шероховатости поверхности при одноосной деформации имеют существенные отличия у чистого металла и цинкового покрытия. Эти различия могут спровоцировать ещё один вид разрушения фосфатного покрытия при штамповке кузовов автомобилей (вспучивания цинкового покрытия или процессы разрыхления цинкового покрытия изнутри), которое до сих пор не рассматривалось.

Ключевые слова: листовой прокат после горячего оцинкования, пыление цинкового покрытия при штамповке.

Листовой прокат после горячего оцинкования широко применяется в автомобильной промышленности для штамповки кузовов и других деталей автомобилей [1-3]. Его характеристики задаются стандартами ГОСТ 14918-80, ГОСТ Р 52246-2004 (EN10142:2000 и EN10147:1991) Для автомобильной промышленности обычно используются марки стали 08пс, 08Ю, СтЗпс с толщиной проката 0,5 до 3 мм и массами цинкового покрытия 100, 120, 140, 275 г/м². Обычно характеристики оцинкованного листа подбираются после испытаний на рабочем оборудовании потребителя. Часто выясняются, что потребителю крайне нужны необходимые и неожиданные свойства оцинкованного листа, которые не регламентируются вышеуказанными стандартами.

Одной из нерешённых проблем производства кузовов автомобилей является проблема пыления цинкового покрытия при штамповке. При работе штампа отслаиваемые частички цинка коагулируются в маленькие комочки. Они чаще всего размещаются в малых и сильно деформируемых зонах штампов. На поверхности кузова в этих областях появляются точечные и другие дефекты. Для контроля этой ситуации после последней операции штамповки всегда выполняется поштучный визуальный контроль. При обнаружении дефекта вся линия штамповки останавливается и происходит операция чистки штампа или, что ещё хуже, замены штампа.

Обзор немногочисленных исследований этой проблемы показывает, что отслаивание частичек

цинка провоцируется возникновением трещин в цинковом покрытии в зонах листа с наибольшей вытяжкой. Обычно рассматриваются два независимых механизма образования трещин, разделяющиеся по морфологии: макротрещины и микротрещины.

Считается, что макротрещины возникают в процессе нанесения покрытия за счёт диффузионного проникновения материала покрытий в металл и охрупчивания границ зёрен [4–14].

Причины возникновения микротрещин недостаточно изучены. Считается, что микротрещины возникают в момент дрессировки оцинкованного листа или в момент штамповки, когда возникают большие касательные напряжения. Разрыв тонкого слоя покрытия происходит при больших касательных напряжениях и может также происходить при малых изгибах полосы [15-19].

Ранее в работах сотрудников НИЦ «Микротопография» МГТУ были подробно изучены процессы формирования шероховатой поверхности при одноосной деформации стали 08Ю [20-22]. Было показано, что с ростом степени деформации:

- амплитудные параметры профиля поверхности линейно возрастают;
- частотные параметры профиля поверхности мало меняются;
- в поверхностных слоях металла возникают кластеры из 5-40 зёрен, причём, чем меньше размер зёрен, тем большие кластеры образуются.

В данной статье рассматривается ещё один механизм, который может привести к отрыву частичек цинка покрытия. Эти процессы очень похожи на процессы вспучивания цинкового по-

крытия или процессы разрыхления цинкового покрытия изнутри.

Для оценки таких процессов были проведены аналогичные исследования в работах [20-22], но имеющие существенные отличия:

- образцы вырезались из одного листового проката без покрытия и с цинковым покрытием после горячего цинкования;
- определялись 3D-параметры шероховатой поверхности (стандарт ISO 25178-2-2012) на оптическом профилографе [23-25];
- образцы вырезались по направлению прокатки и перпендикулярно этому направлению.

Образцы имели длину 220 мм, ширину 7 мм, толщину 0,7 мм и брались из промышленной партии проката ЛПЦ №11 ПАО «ММК».

На рис. 1, 2 приведены карты поверхности проката без покрытия и с цинковым покрытием после горячего цинкования до и после существенной деформации. На самом деле регистрировались по семь карт на каждом образце после последовательных операций вытяжки.

Было определено, что амплитудные параметры S_a (среднее арифметическое абсолютное отклонение ординат шероховатой поверхности) неровностей поверхности чистого металла с постом

одноосной деформации увеличиваются быстрее, чем у металла с цинковым покрытием (рис. 3, а).

Аналогично ведут себя объём пустот шероховатой поверхности V_{vc} (см. рис. 3, б). Параметр V_{vc} не имеет 2D-аналога.

Шаговые параметры S_{al} (длина автокорреляции) у чистого металла с ростом одноосной деформации уменьшаются, а с цинковым покрытием – растут (рис. 4, а).

Если число пиков на единицу площади поверхности S_{ds} у чистого металла с увеличением удлинения не меняется, то у металла с цинковым покрытием оно резко уменьшается (рис. 4, б). Параметр S_{ds} не имеет 2D-аналога.

Вывод

Данные результаты исследования показывают, что процессы формирования шероховатости поверхности при одноосной деформации имеют существенные отличия у чистого металла и цинкового покрытия. Эти различия могут спровоцировать ещё один вид разрушения фосфатного покрытия при штамповке кузовов автомобилей (вспучивания цинкового покрытия или процессы разрыхления цинкового покрытия изнутри), которое до сих пор не рассматривалось.

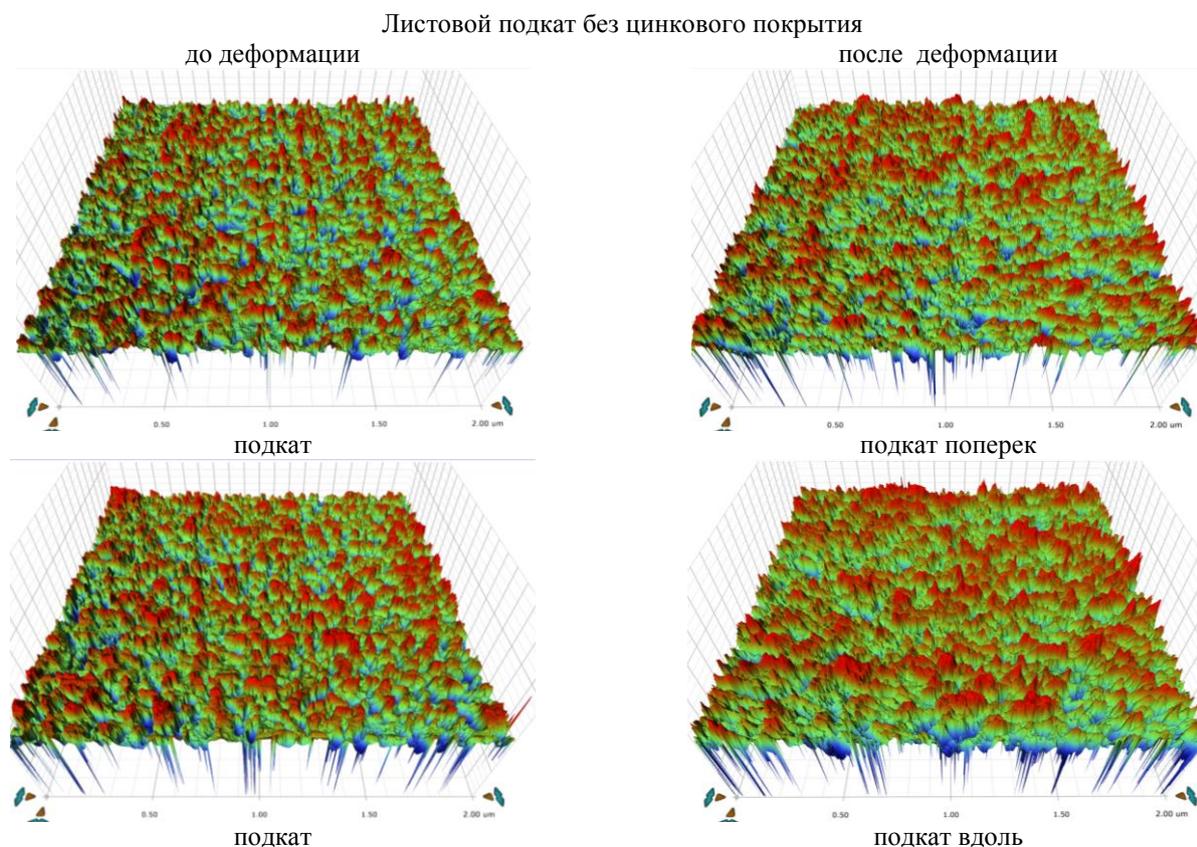


Рис. 1. Карты поверхности подката до и после деформации

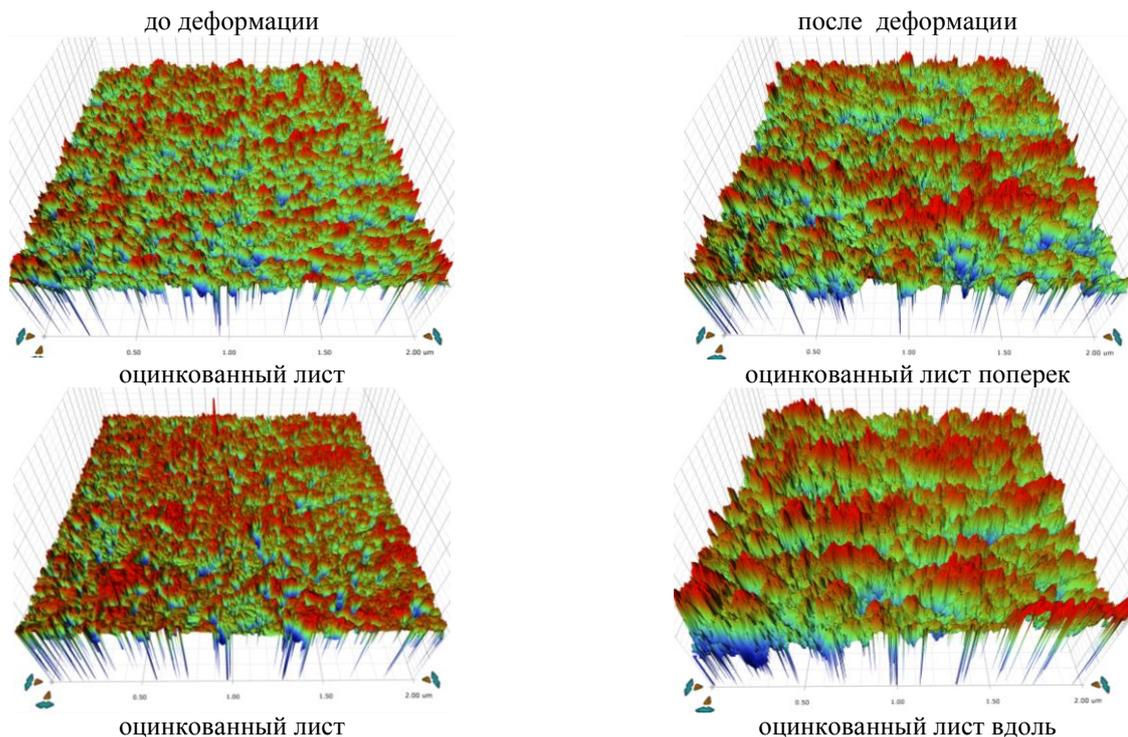


Рис. 2. Листовой прокат с цинковым покрытием после горячего цинкования

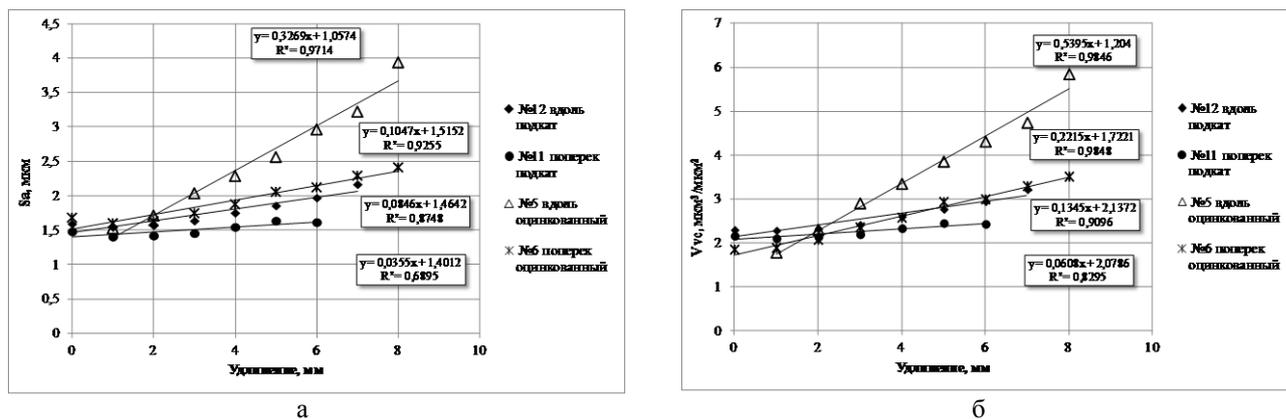


Рис. 3. Изменение амплитудных и объёмных параметров шероховатой поверхности подката и подката с цинковым покрытием при увеличении степени одноосной деформации

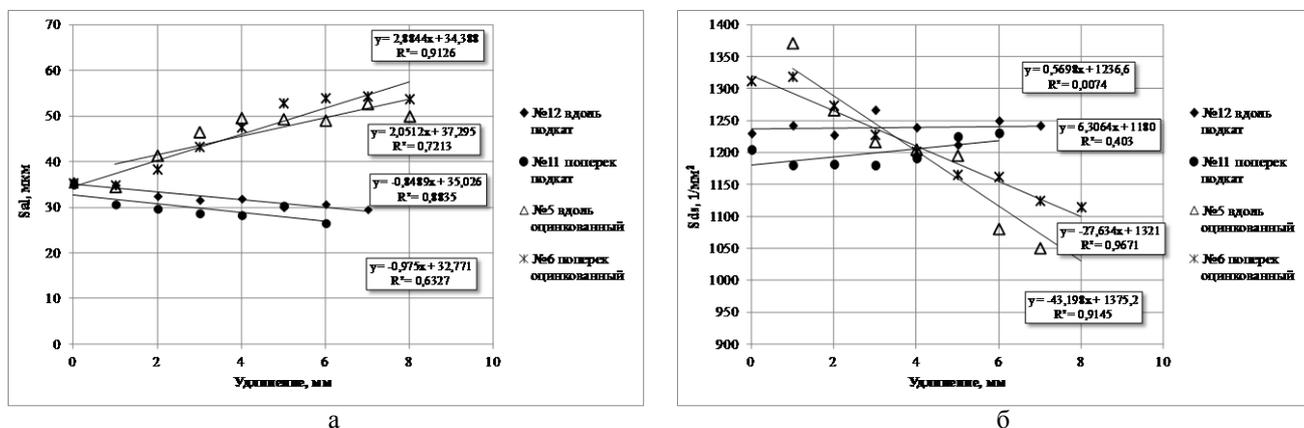


Рис. 4. Изменение параметров SaL и Sds с цинковым покрытием

Список литературы

1. Влияние топографии поверхности горячеоцинкованного металлопроката на качество окрашивания литевых деталей автомобиля / А.В. Горбунов, В.К. Белов, Е.В. Жарков, А.В. Ищенко, А.И. Шпак, Г.П. Грамович // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. науч. тр. / Центр. Лаб. ОАО «ММК». Вып.12. Магнитогорск, 2007. С. 311-313.
2. Получение заданной микро топографии поверхности на горячеоцинкованном металлопрокате, применяемом в автомобильной промышленности / А.В. Горбунов, Е.В. Жарков, А.В. Ищенко, В.К. Белов // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. тр. 6-й междунард. науч.-техн. конф., 2009 г.. Липецк: ЛГТУ, 2009. Ч. 2. С. 54-60.
3. Gorbunov A.V., Papshev A.V., Zharkov E.V., Belov V.K., Begletsov D.O. REGULATING THE SURFACE MICROTOPOGRAPHY OF GALVANIZED SHEET FOR AUTOBODY COMPONENTS Steel in Translation. 2012. Т. 42. № 2. С. 157-160
4. Drillet P., Grigorieva R., Leuillier G., Victoris T. Study of cracks propagation inside the steel on press hardened steel zinc based coatings La Metallurgia Italiana, n. 1/2012, pp. 1-8
5. Drillet, P., et al., Study of crack propagation inside the steel on press hardened steel zinc based coatings, in Proc. of the 8th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, Genova, Italy (2011).
6. European Commission, Research Fund for Coal and Steel, Exploring of Crack Initiation Mechanisms and Process Parameter Interactions in Press Hardened Boron Steel Components Actively Protected by Zn-Based Coatings (ZINCOBOR), D. Casellas, J. Pujante Fundació ,A. Ademaj, U. Weidig, K. Steinhoff , EL H. Schwinghammer, T. Kurz , D. Norman, G. C. Hensen, 2017.
7. Kurz, T., Luckeneder, G., Manzenreiter, T., Schwinghammer, H., Sommer, A., "Zinc Coated Press Hardening Steel - Challenges and Solutions," SAE Technical Paper 2015-01-0565, 2015, doi:10.4271/2015-01-0565.
8. Van Genderen M., et al., Zinc-coated Boron Steel, ZnX: Direct hot forming for automotive applications, in Proc. of the 3rd Int. Conf. on Hot Sheet Metal Forming of High Performance Steel (Eds. M: Oldenburg, K: Steinhoff, B. Prakash), pp. 145–152, Kassel (2011).
9. Hensen G. et al. Unlocking the Potential of Zinc Coated Steel for Hot Forming by Innovative Process Modifications. Proceedings of 5th International conference on hot sheet metal forming p.85, CHS2 2015, Toronto, 2015.
10. Knezar K., et al., Formhärten von feuerverzinktem 22MnB5: ein stabiler und reproduzierbarer Prozess, in Proc. of the 2. Erlanger Workshop Warmblechumformung. (Eds. M. Merklein, M. Geiger), pp. 131–148.
11. Kondratiuk J., et al., A new coating solution for hot press forming, in Proc. of the 8th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH2011), Genova, Italy (2011).
12. Köyer M. et al., Zinc alloy for the hot forming process. In: Ed. Mats Oldenburg, Braham Pra-kash, Kurt Steinhoff, Proceedings of the 4th International Conference on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel CHS2 2013. Wissenschaftliche Scripten (2013), ISBN 978-3- 942267-82-3 p 363.
13. Kurz T., et al., "Zinc Coated Press-Hardening Steel - Challenges and Solutions," proceedings CHS2 Conference on hot sheet metal forming, Toronto (2015), pp. 345-354.
14. Luther F., et al., Laboratory study on the performance of zinc and aluminium based coatings for a direct hot press forming process, in Proc. of the 8th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, Genova, Italy, (2011).
15. Picas I. et al. Fatigue Performance Of Press Hardened Steels With Tailored Material Properties: A Compromise Between High Strength And Damage Tolerant Microstructures. Proceedings of 4th International conference on hot sheet metal forming, CHS2, Lulea, 2013.
16. Pujante J. et al., Measurement of Adhesive Wear on Hot Forming Tools, Proceedings of 4th International conference on hot sheet metal forming, CHS2, Lulea, 2013.
17. Wook Lee et al. Liquid- Metal-Induced Embrittlement of zinc coated hot stamping steel, Metallurgical and Material Transactions A, 2012.
18. Fouratier A., Lucas A., Juan Hector Bianchi, Paolo Vescovo Control of sheet surface defects and deep drawing properties in final strip production steps, Edition: Technical Steel Research, EUR 22566 Publisher: Office for Official Publ. of the 17 E.U., Luxembourg 2007, ISBN: ISBN 92 79 050183.
19. Kim, D. et al. Cracking Issues of Zn coated Press Hardening steel in Direct Hot Press Forming, Proceedings of 4th International conference on hot sheet metal forming, CHS2, Lulea, 2013.
20. Формирование микро топографии свободной поверхности низкоуглеродистой стали при деформации / В.К. Белов, Е.В. Губарев, О.В. Кривко, А.Ю. Леднов // Материалы 63-й науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ за 2003-2004 гг.: сб. докл. Т.2. Магнитогорск МГТУ, 2004. С. 165–169.
21. Исследование влияния микро структуры стали на формирование микро топографии свободной поверхности при одноосном растяжении / В.К. Белов, Е.В. Губарев, О.В. Кривко, А.Ю. Леднов // Физика металлов и металловедение. 2005. Т. 99. №6. С. 87-93.
22. Формирование микро топографии свободной поверхности проката при дрессировке / В.К. Белов, А.В. Горбунов, Д.О. Беглецов, О.В. Кривко // Сталь. 2008. №1. С. 40 – 43.
23. Белов В.К., Дьякова М.В. Новое в метрологии: замена 2D-параметров микро топографии профиля на 3D-параметры микро топографии поверхности // Контроль и диагностика. 2012. №7. С. 57-63.
24. Особенности использования 3D-топографических характеристик поверхности в инженерном деле / В.К. Белов, Д.О. Беглецов, Е.В. Губарев, С.В. Денисов, М.В. Дьякова, К.В. Смирнов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета. 2013. №1. С. 10-14.

- тогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова 2014. №1 (45) С. 73-80.
25. Комплексное исследование микротопографии поверхности холоднокатаного и оцинкованного про-

ката с помощью современных 3D-критериев / В.К. Белов, М.В. Дьякова, С.А. Ласьков, А.В. Горбунов и др. // Сталь. 2013. №11. С.36-41.

Сведения об авторах

Белов Валерий Константинович – канд. физ.-мат. наук, проф. каф. физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: belovalkon@mail.ru

Кривко Оксана Викторовна – канд. техн. наук, ст. преподаватель каф. физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: chudinka_o@mail.ru

Губарев Евгений Владимирович – ст. преподаватель каф. физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, ORCID ID 0000-0001-6101-8114. E-mail: john_g@mail.ru

Демчук Федор Александрович – engineer, NISSAN MANUFACTURING, г. Санкт-Петербург.

Погонин Евгений Юрьевич – engineer, NISSAN MANUFACTURING, г. Санкт-Петербург. E-mail: EPogonin@nissan.ru

Самородова Элла Геннадьевна – ведущий инженер, ПАО «ММК», г. Магнитогорск. E-mail: samorodova.eg@mmk.ru

УДК 538.971(075)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Белов В.К., Губарев Е.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», НИЦ «Микротопографии», Магнитогорск

Аннотация. Показан один из способов определения площади контакта шероховатых поверхностей, основанный на приёмах обработки изображений.

Ключевые слова: площадь контакта шероховатых поверхностей.

Практически все монографии по трибологии начинаются с обсуждения проблемы определения площади контакта шероховатых поверхностей [1, 2]. При определении этой площади чаще всего используется модель шероховатых поверхностей в виде шаровых сегментов радиусом R на разной высоте, поскольку для этих сегментов можно использовать формулы Герца:

$$\sigma_n = \sqrt[3]{F \cdot E^2} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{R^2}}; \quad (1)$$

$$E = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}, \quad (2)$$

где напряжение начала пластической деформации σ_n определяется по критериям Мизеса или Треска; F – усилие сжатия двух шероховатых поверхностей; E – приведённый модуль Юнга шарового индентора и гладкой поверхности.

В рамках этой модели были создана теория фрикционного трения научными советскими школами Крагельского И.В., Михина Н.М., Суслова А.Г., Дёмкина Н.Б., Рыжова Э.В.

Наиболее распространённой моделью зарубежных школ, отказавшихся от модели Герца, является модель Гринвуда и Уильямсона (модель G&W), которая использует экспериментально определённую интегральную функцию распределения ординат профиля поверхности [3, 4]. В работе [5] показано, что определение радиуса кривизны выступов шероховатой поверхности имеет очень высокую погрешность. В следующих работах Гринвуд и Уильямсон отказываются от герцовского контакта и используют модель тупого конуса, для которого выполняется соотношение

$$F = \frac{1}{2} \pi \cdot r^2 \cdot E \cdot \text{ctg}(\alpha), \quad (3)$$

где r – радиус отпечатка;

α – угол конуса, близкий к 90° .

В этом случае должно выполняться соотношение

$$\sigma_n \approx E \cdot R_{dq}, \quad (4)$$

где R_{dq} – среднеквадратичный угол наклона микрограней выступов шероховатой поверхности.

Для разделения упругого и пластического контакта вводится индекс пластичности Ψ (табл. 1).

Таблица 1

Упругий контакт	Индекс пластичности G&W	Пластический контакт
$\Psi < 2/3$	$\Psi = \frac{E}{\sigma_n} \cdot R_{dq} \text{ [6]}$ $\Psi = \frac{E}{H} \cdot R_{dq} \text{ [7]}$	$\Psi > 3$

Твёрдость H обычно определяется четырьмя стандартными способами, указанными в табл. 2.

В табл. 2 также указаны формулы, определяющие площадь контакта через габариты отпечатка индентора. Модель G&W может быть легко пересчитана для вышеуказанных инденторов, то есть соответствующих им моделей выступов. Но детерминированная геометрическая модель выступов совершенно не соответствует реальной картине отпечатков шероховатой поверхности на ровной поверхности, как будет показано ниже. Более того, современные методики и аппаратура (оптические профилографы) для определения микротопографических характеристик шероховатой поверхности позволяют экспериментально определять сечения шероховатой поверхности на разных уровнях и статистически оценивать их площади и периметры [8-11]. На рис. 1 показана микротопография поверхности автолиста и её сечение на высоте h от нулевого уровня.

Таблица 2

K = HB Brinell	K = HV Vickers	K = HK Knoop	K = HRC, HRB Rockwell
$S = \frac{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$	$S = \frac{d^2}{1,854}$	$S = \frac{d^2}{1,854}$	

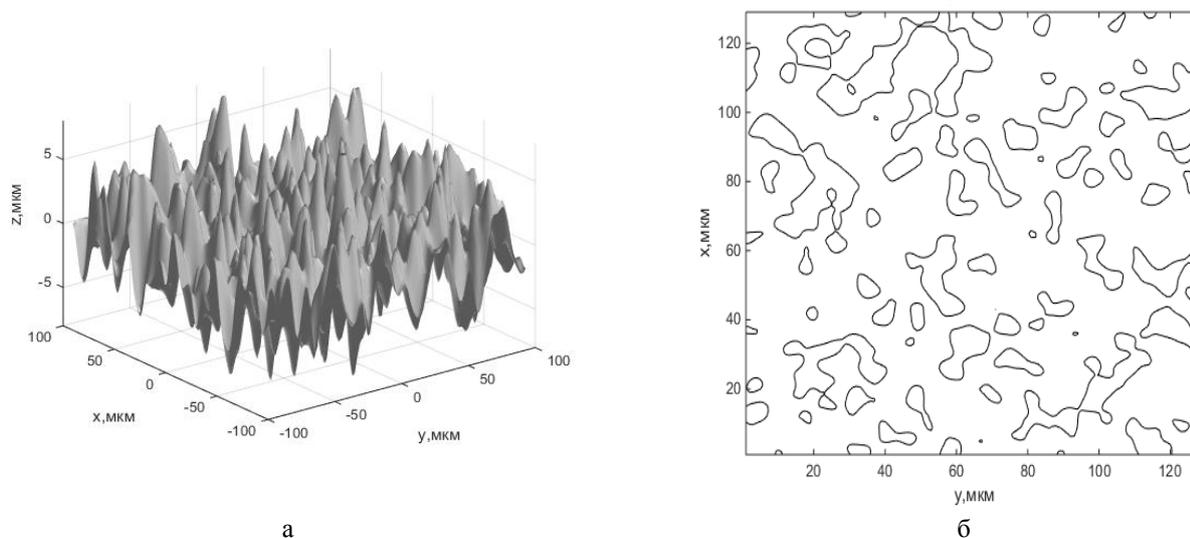


Рис. 1. Поверхность и её сечение: а – фрагмент поверхности с параметром $Rq = 2,53$ мкм; б – сечение поверхности на высоте $h = 2,0$ мкм

Но при обработке этих экспериментальных данных возникают затруднения, связанные со стандартным шагом дискретизации поверхности. Например, при определении параметров шероховатости при фильтре $\lambda_c = 2,5$ мм шаг дискретизации должен быть равным 1,5 мкм [13]. При масштабном анализе этих сечений следует оговаривать множество неочевидных моментов.

Первое – обязательное указание площади элементарной ячейки d^2 в соответствии в современных стандартах.

Второе – строго следовать определению заполненных и пустых ячеек, указанному на рис. 2.

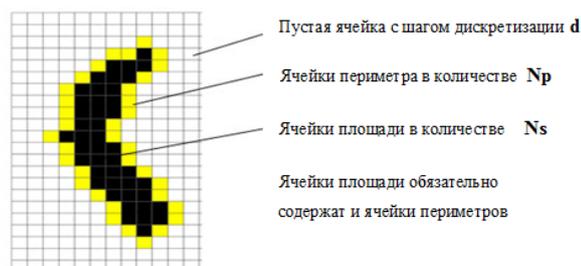


Рис. 2. К определению площадей и периметров сечений шероховатой поверхности

Третье – различать закрытые сечения выступов шероховатой поверхности, которые не контактируют с внешними границами площади оценки, и открытые сечения выступов шероховатой поверхности, которые пересекаются внешними границами площади оценки (см. рис. 1). На рис. 3 приведены примеры сечений шероховатой поверхности на разных высотах от нулевого сечения поверхности.

Полученные данные позволяют напрямую оценивать площадь контакта шероховатой поверхности с гладкой поверхностью (рис. 4). На рис. 5, а показано, как изменяется число закрытых и открытых контуров сечений выступов шероховатой поверхности на гладкой поверхности в зависимости от глубины внедрения. На рис. 5, б, в показано, как изменяются периметры и контуры сечений выступов шероховатой поверхности на гладкой поверхности в зависимости от глубины внедрения. На ранних стадиях внедрения шероховатой поверхности в гладкую (высокие уровни сечений) наблюдается монотонный рост как числа сечений, так и средних значений площадей сечений. Процесс слияния и перекрытия этих сечений (низкие уровни сечений) радикально изменяет характер этой зависимости.

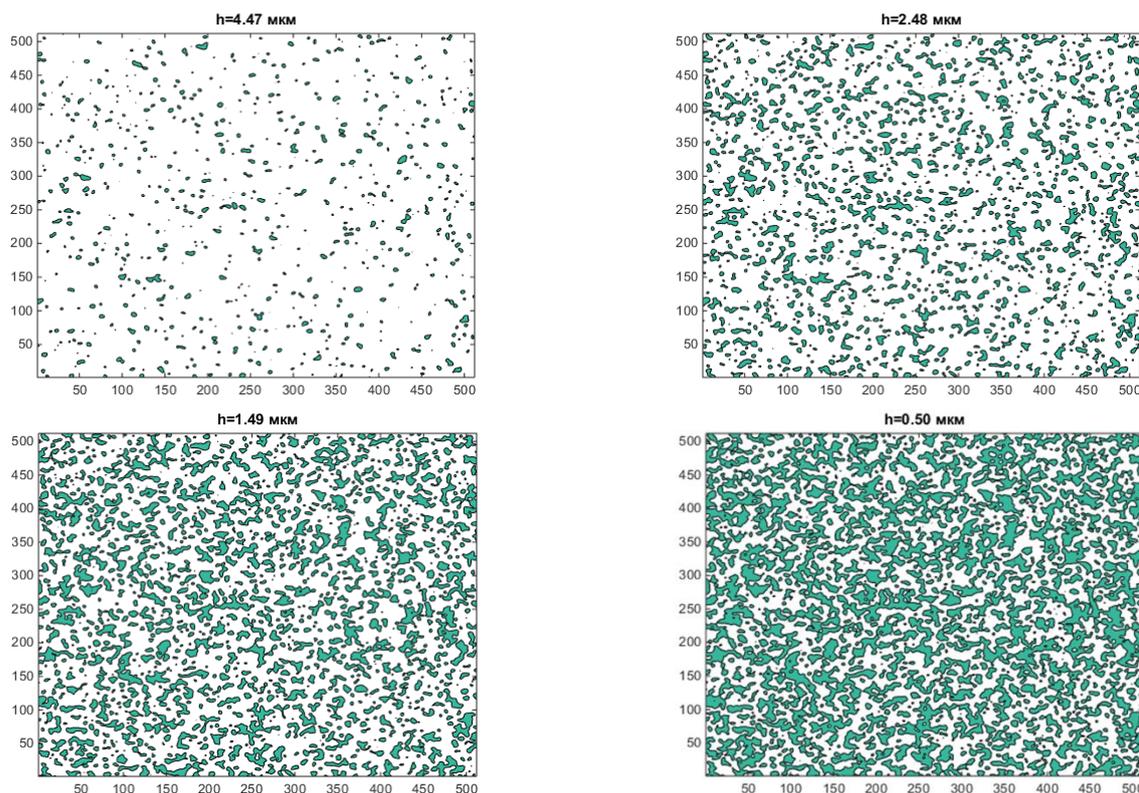


Рис. 3. Примеры сечений шероховатой поверхности на разных высотах от нулевого сечения поверхности автолота

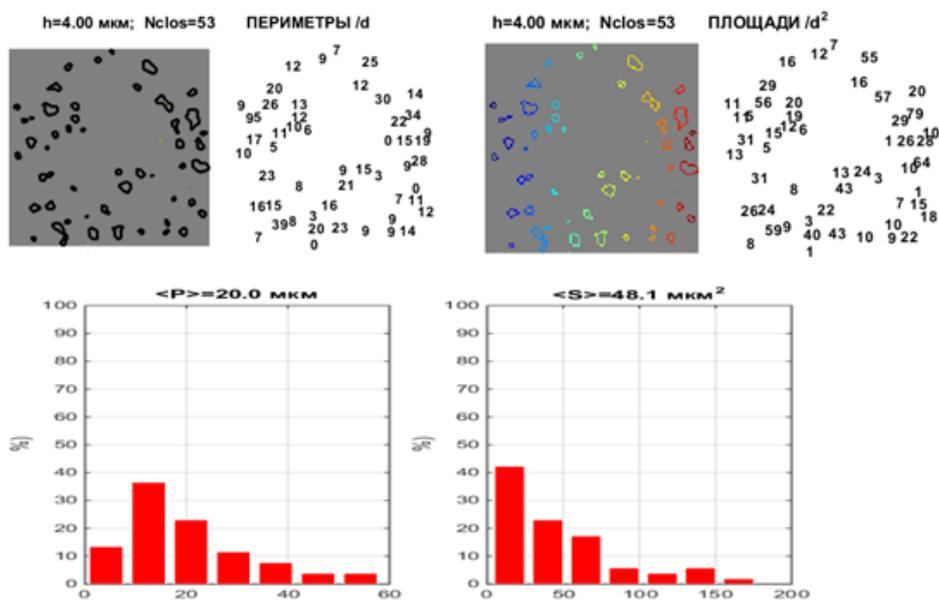


Рис. 4. Примеры расчётов периметров и площадей сечений шероховатой поверхности на разных высотах от нулевого сечения поверхности

Ранее в задачах подобного рода рост площади контакта шероховатой поверхности с гладкой при повышении нагрузки объяснялся только ростом числа пятен контакта [14]. В данной работе показано, что рост площади контакта обусловлен нелинейным ростом числа контактов (см. рис. 5, а) и нелинейным ростом средней площади единичного

контакта (см. рис. 5, б, в).

Таким образом, в настоящее время существуют экспериментальные возможности для определения площади контакта любой реальной шероховатой поверхности с гладкой на любом уровне сечения без использования различных моделей с детерминированными по форме выступами.

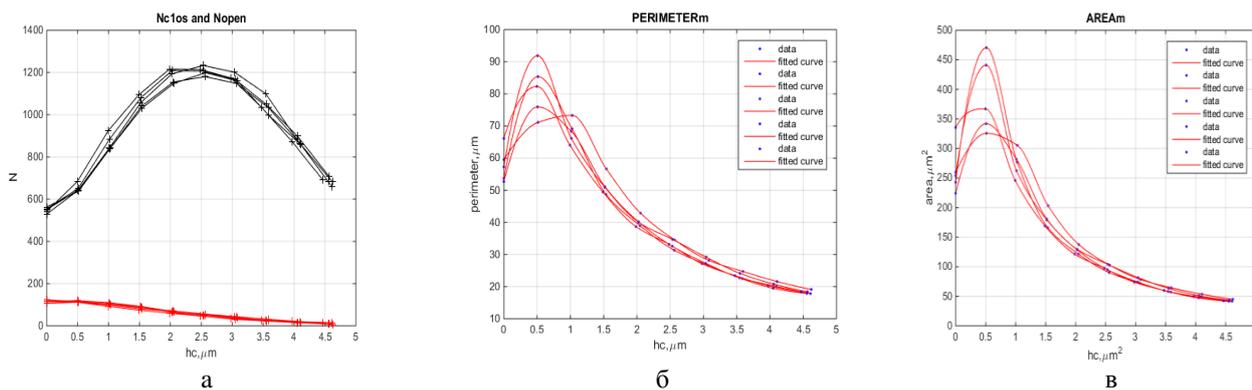


Рис. 5. Зависимость от уровня сечения: а – числа закрытых и открытых контуров; б – средних значений периметров; в – площадей сечений шероховатой поверхности

Список литературы

1. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия: пер.с англ. М.: Мир. 1989. 510 с.
2. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.С. Сулова. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
3. Chunyan Yang Role of surface in tribology: From atomic to macroscopic scale / Key Technologies Band. Volume 7, 2008, 167 p.
4. Bharat Bhushan Principles and applications of tribology, second edition, Ohio State University Columbus, Ohio USA, 2013, 979 p.
5. Белов В.К. Профили поверхности: монография. 3-е изд. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 260 с.
6. Greenwood, J. A., and Williamson, J. V. P., 1966, "Contact of Nominally Flat Surfaces," Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 295(1442), pp. 300-319.
7. Mikic B.V. Thermal contact conductance; theoretical considerations International Journal of Heat and Mass Transfer. Volume 17, Issue 2, February 1974, Pages 205-214.
8. Комплексное исследование микротопографии поверхности холоднокатаного и оцинкованного проката с помощью современных 3D-критериев / В.К. Белов, М.В. Дьякова, С.А. Ласьков, А.В. Горбунов, А.Ф. Радионов, Н.И. Жумагалиев, П.С. Кривошеков // Сталь. 2013. № 11. С. 36–41.
9. Белов В.К., Пономарева М.В. Новое в метрологии: замена 2D-параметров микротопографии профиля на 3D-микротопографии поверхности // Контроль. Диагностика. 2012. № 7. С. 57–63.
10. Белов В.К. Требования к микротопографии поверхности листовой продукции и возможности металлургической промышленности – прошлое, настоящее, будущее. Ч. 1. Требования заказчика и возможности технологии в настоящее время. 2d-параметры микротопографии // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2015. № 7 (1387). С. 73-82.
11. Белов В.К. Требования к микротопографии поверхности листовой продукции и возможности металлургической промышленности – прошлое, настоящее, будущее. Ч. 2. 3d-параметры микротопографии и их связь с эксплуатационными свойствами листа. Новые разрабатываемые 3d-параметры микротопографии поверхности и перспективы их использования // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2015. № 8 (1388). С. 51-60.
12. Белов В.К., Пономарева М.В. Новый подход к регламентации микротопографии поверхности холоднокатанного листа с использованием современных 3D параметров // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2012. № 5 (1349). С. 46–55.
13. Белов В.К., Губарев Е.В., Беглецов Д.О. Физика поверхности. Определение параметров 3D-параметров микротопографии поверхности. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. 111 с.
14. ASME B46.1-2009. Surface texture (surface roughness waviness, and lay).
15. Мур Д. Основы и применения трибоники. М.: Мир, 1978. 483 с.

Сведения об авторах

Белов Валерий Константинович – канд. физ.-мат. наук, проф. каф. физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: belovalkon@mail.ru

Губарев Евгений Владимирович – ст. преподаватель каф. физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, ORCID ID 0000-0001-6101-8114. E-mail: john_g@mail.ru

УДК 622.349.4'341.11:543.427

НЕОБХОДИМОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД ВОЛКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СПОСОБА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Медяник Н.Л., Смирнова А.В., Горбулина Д.П.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье показана необходимость предварительного исследования вещественного состава титаномагнетитовых руд в целях определения путей более комплексного их использования. Проведенные исследования руды методом растровой электронной микроскопии определили наличие в зернах магнетита пластинчатых включений ильменита, а также наличие в руде меди в виде борнита и другие ценные компоненты, что говорит о необходимости разделения руды на магнитную и немагнитную фракции. Получаемый таким образом железный концентрат является перспективным титан-ванадий-вольфрамым сырьевым ресурсом для комплексного извлечения ценных компонентов, что доказано проведенными исследованиями элементного и минерального состава различными методами.

Ключевые слова: титаномагнетитовые руды, вещественный состав, железный концентрат, титан, ванадий, вольфрам.

В настоящее время комплексные титаномагнетитовые руды являются одним из ведущих промышленных источников железа и основным типом минерального сырья для получения титана, ванадия, фосфора и других ценных компонентов.

Возможность комплексной переработки титаномагнетитовых руд повышает инвестиционную привлекательность освоения таких месторождений. Это обуславливает необходимость детального исследования вещественного состава руд для получения полной информации о минеральных и морфоструктурных характеристиках, которые определяют качество сырья.

При изучении вещественного состава полезных ископаемых и оценки их технологических свойств, перечень которых достаточно велик, в первую очередь определяют химический и минералогический состав, а также структурные и текстурные особенности в строении полезного ископаемого.

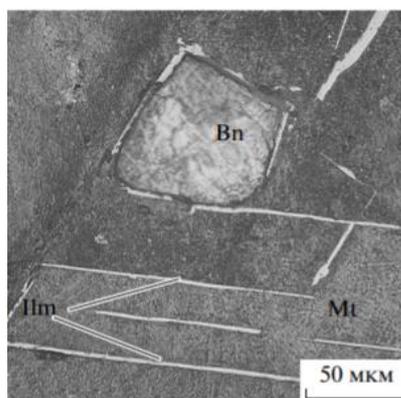
Волковское месторождение титаномагнетитовых и медно-титаномагнетитовых руд (рудные тела этих типов можно рассматривать как единый природный тип) имеют в своем составе медь, железо, титан и ванадий в количествах, достаточных для их промышленного извлечения, а также фосфор, золото, серебро и ряд других ценных компонентов [1]. Однако получение надежных сведений о количественном минеральном составе руды и продуктов ее обогащения невозможно только посредством проведения химического анализа из-за

сложных взаимоотношений рудообразующих минералов. В настоящее время чаще всего наряду с химическим методом определения элементного состава проводятся исследования методами рентгенофлюорисцентного, рентгенофазового и рентгеноструктурного дифрактометрического анализов, а также методом растровой электронной микроскопии [2-4].

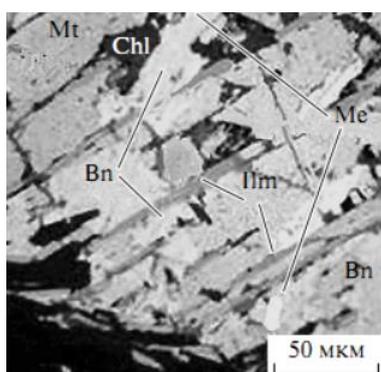
Титаномагнетит – минерал сложного состава, представляющий собой твердый раствор магнетита ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) и ульвошпинели ($2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$). В результате распада твердого раствора возможно присутствие ильменита и шпинели, расположенных в магнетитовой матрице [5].

Титаномагнетитовые руды Волковского месторождения содержат: Fe – 9,970%, Cu – 0,760%, P_2O_5 – 1,780%, V_2O_5 – 0,017% [6]. Минералогическими формами титана являются титаномагнетит и ильменит. Ванадий в виде изоморфной примеси входит в состав кристаллической решетки магнетита и химически связан с ним [1, 7]. Проведенные исследования структурно-текстурных особенностей руды методом растровой электронной микроскопии подтвердили наличие в зернах магнетита точечных и пластинчатых включений ильменита, а также наличие в руде меди в виде борнита и другие ценные включения (рис. 1) [1].

Таким образом, обогащение титаномагнетитов целесообразно направлено на разделение магнитной и немагнитной фракций для различных нужд металлургического передела.



а



б

Рис. 1. Структура распада титаномагнетита на магнетит (Mt) и ильменит (Ilm).

Отраженный свет. Николи параллельны:

а – на расположение ламелей ильменита влияет включение зерна раннего борнита (Bn); б – борнит (Bn) замещает магнетит, вместе с борнитом наблюдаются мельчайшие выделения меренскиита (Me)

Исследованиями обогатимости титаномагнетитовых руд занимались многие организации, в числе которых институты Механобр, Уралмеханобр и центральная лаборатория Уральского территориального управления. Таким образом, была разработана магнитогравитационная технология обогащения с получением ильменитового концентрата с массовой долей диоксида титана до 42,7% при извлечении его 77,6% и железного концентрата с массовой долей железа до 60,3% при извлечении 14,5%. Реализация данной технологии для получения железного концентрата оказалась нецелесообразной ввиду малого его выхода и высо-

кой массовой доли в нем диоксида титана, достигающей до 10,5 – 11,0% [7].

Из руды Волковского месторождения на Красноуральской обогатительной фабрике получают железный концентрат путем мокрой магнитной сепарации с предшествующими стадиями основной и контрольной медной флотации. Применение данной технологии позволяет получать железный концентрат с массовой долей железа до 59,1% при извлечении 59,6% и массовой долей диоксида титана 4,0% [6]. Сравнительный анализ, графически представленный на рис. 2, показывает эффективность технологии обогащения титаномагнетитов с получением железного концентрата, разработанной на Красноуральской обогатительной фабрике: – при равных показателях массовой доли железа в концентрате содержание диоксида титана значительно ниже, а извлечение железа – выше.



Рис. 2. Сравнение технологий получения железного концентрата по показателям обогащения

Кроме того, на Красноуральской обогатительной фабрике также получают медный, апатитовый концентраты и медный промпродукт (табл. 1) [6].

В условиях испытательной лаборатории кафедры химии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» был получен железный концентрат.

Для определения минерального состава пробы концентрата проведен рентгеноструктурный анализ концентрата на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000. Расчет выполнен в программном продукте SIROQUANT V4. Установлено, что основным количественно выраженным минералом в этом концентрате является магнетит, далее следует ильменит и примеси алюмосиликатов (табл. 2).

Таблица 1

Показатели обогащения руды Волковского месторождения

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %					Извлечение, %			
		Cu	Fe	V ₂ O ₅	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cu	Fe	V ₂ O ₅	P ₂ O ₅
Медный концентрат	2,84	23,1	12,5	0,190	0,20	н.д.	85,85	3,56	4,61	0,32
Медный п/п	4,81	0,1	6,85	0,043	3,27	н.д.	0,63	3,30	1,77	8,83
Апатитовый концентрат	6,52	0,13	3,77	0,026	23,36	н.д.	1,11	2,46	1,45	85,52
Железный концентрат	10,06	0,19	59,09	0,870	0,04	3,95	2,50	59,60	74,72	0,23
Хвосты	75,77	0,1	4,09	0,027	0,12	н.д.	9,91	31,08	17,45	5,10

Таблица 2
Минеральный состав (прибл. вес. %)

Проба	Магнетит	Ильменит	Хлорит	Цеолит
Концентрат железный	84	10	5	1

Проба железного концентрата также была исследована на рентгенофлуорисцентном спектрометре полуколичественным методом. Результаты анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3
Результаты рентгенофлуорисцентного анализа, %

Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	V ₂ O ₅	ZnO	SO ₃
57,1	3,86	1,45	2,48	2,40	5,10	0,45	1,40	0,12	0,80

Кроме того, дополнительно проведен химический анализ железного концентрата на содержание таких ценных компонентов, как железо, титан, ванадий, вольфрам. Согласно результатам элементного анализа, в полученном железном концентрате находится до 44,97% Fe, 5,56 Ti, 0,65 V и 0,13 W (табл. 4).

Таблица 4
Содержание ценных компонентов в концентрате железном

Химический элемент	Fe	Ti	V	W
Массовая доля, %	44,97	5,56	0,65	0,13
Методика	ГОСТ 32517.1-2013	ГОСТ 2642.6-2017, п.6	НСАМ 155-хс	НСАМ 82-х

Итак, исследование вещественного состава титаномагнетитовой руды позволило сделать прогноз направления ее переработки. Волковские титаномагнетиты необходимо подвергать мокрой магнитной сепарации для разделения с ильменитовой фракцией, а также медной флотации для отделения оставшейся меди с выведением ее в товарный продукт. Такая технология с успехом используется на Красноуральской обогатительной фабрике, в результате которой получают железный концентрат.

Проведенные исследования элементного и минерального состава концентрата железного титаномагнетитовых руд позволили сделать вывод о том, что он представляет собой не только железосодержащее сырье, но и титан-ванадий-вольфрамовый

перспективный сырьевой ресурс для комплексного гидрометаллургического и глубокого химического извлечения ценных компонентов с целью получения товарных продуктов для металлургической и химической промышленности.

Список литературы

1. Полтавец Ю.А., Полтавец З.И., Нечкин Г.С. Волковское месторождение титаномагнетитовых и медно-титаномагнетитовых руд с сопутствующей благороднометалльной минерализацией (Средний Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. №2. С. 143-157.
2. Симаков В.А. Рентгенофлуоресцентный анализ руд и продуктов их переработки (При разведке месторождений): специальность 02.00.02 «Аналитическая химия»: дисс. ... д-ра техн. наук / Симаков Владимир Александрович. Москва, 2000. 252 с.
3. Физико-химическое моделирование качественного и количественного фазового состава железных руд / А.В. Ощепкова, В.М. Чубаров, В.А. Бычинский, Е.В. Канева // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2020. Т. 13. № 1. С. 65-77. DOI 10.17516/1998-2836-0169.
4. Рудмин М.А., Мазуров А.К., Рубан А.С. Морфология и вещественный состав железных руд Бакчарского рудопоявления (Томская область) // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-6. С. 1323-1327.
5. Ахмаджиди А.С. Комплексная переработка титаномагнетитовых концентратов месторождения Гремяха-Вурмес с извлечением железа, ванадия и титана // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021»: стендовая секция [Электронный ресурс]. Москва: Изд-во ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, 2021. URL: <https://lomonosov2021.chem.msu.ru/poster/kompleksnaja-pererabotka-titanomagnetitovyh-koncentratov-mestorozhdenija-gremjaha-vurmess-s-ivzlecheniem-zheleza-vanadija-i-titana/>
6. Газалева Г.И. Развитие технологии обогащения титаномагнетитов // Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья: материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 90-летию со дня основания института «Уралмеханобр». 2019. С. 14 – 18.
7. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Гмызина Н.В. Обогащение титаномагнетитовых руд Южного Урала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2. С. 5-7.

Сведения об авторах

Медяник Надежда Леонидовна – д-р техн. наук, проф., зав. каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID ID 0000-0003-0973-8899. E-mail: chem@magtu.ru

Смирнова Анастасия Владиславовна – ст. преподаватель каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: a-kremneva@mail.ru

Горбулина Дарья Петровна – студентка гр. ТТПб-19, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

УДК 664

ПРИМЕНЕНИЕ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА В ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Зяблицева М.А., Додонова Н.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Питание – это один из ключевых факторов, позволяющих регулировать состояние организма, воздействовать на его органы и системы. Для защиты клеток от токсичного действия все большее применение находит включение в состав продуктов питания веществ с антиоксидантными свойствами. К числу веществ, обладающих антиоксидантной активностью, относится дигидрокверцетин (ДКВ). Дигидрокверцетин – это природный антиоксидант, получаемый из комлевой части сибирской лиственницы. Обладая антиокислительными свойствами, ДКВ изначально использовался в пищевой промышленности в качестве пищевой добавки. В настоящее время дигидрокверцетин все более широкое применение находит в качестве пищевого компонента. Разработаны технологии производства таких молочных продуктов с дигидрокверцетином, как сметана, кисломолочные продукты, плавленые сыры, консервы.

Ключевые слова: дигидрокверцетин, молочные продукты, профилактическое питание, антиоксидант, пищевая добавка.

В настоящее время ученые сходятся во мнении, что пища современного человека должна быть не просто источником восполнения затрат организма. Современные продукты питания – это ресурс, позволяющий оказывать существенное влияние на основные процессы организма.

Активно формируется новое научно-практическое направление – разработка рецептур пищевых продуктов на основе слияния знаний пищевой технологии, диетологии, фармакологии и медицины [1].

Одним из актуальных направлений является применение новых ингредиентов на основе природных ресурсов. Особый интерес представляет сибирская лиственница. Из комлевой части древесины сибирской лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb), лиственницы Гмелина или даурской лиственницы (*Larix gmelini* (Rupr) Rupr) получают дигидрокверцетин (ДКВ).

По своей химической природе ДКВ – это органическое соединение, относящееся к классу полифенолов. Растительные полифенолы являются вторичными метаболитами растений. Они участвуют в фотосинтезе, выполняют защитную функцию в патогенезе растений, вовлечены в регуляцию процессов прорастания семян, а также пролиферации и отмирания клеток удлиняющихся растущих частей растений. Полифенолы также отвечают за цвет, вкус и запах растений.

Впервые о биологических свойствах дигидрокверцетина стало известно в 1950 г. Были открыты его антиокислительные свойства, что позволило отнести ДКВ к группе витамина Р.

В дальнейшем биохимическими, физиологическими исследованиями и клиническими испытаниями был доказан широкий лечебно-профилактический спектр действия ДКВ. Антиоксидантные свойства ДКВ заключаются в способности снижать скорость свободнорадикального окисления водорастворимых и жирорастворимых субстратов. Капилляропротекторные свойства ДКВ обусловлены активизацией работы капилляров за счёт защиты мембраны клеток. Отмечены противовоспалительные свойства, поскольку ДКВ обладает способностью замедлять воспалительные реакции в организме, улучшать снабжение клеток кислородом. ДКВ оказывает радиозащитное действие на организм в отношении ионизирующей радиации. Отмечены дезинтоксикационные свойства ДКВ, которые заключаются в прямом взаимодействии с токсинами, связывании их в стабильную форму с последующим выведением из организма. Гепатопротекторные свойства выражаются в защитном действии структуры гепатоцитов и ускорении восстановления поврежденной паренхимы печени [2,3,4].

Изначально в пищевой промышленности дигидрокверцетин применялся в качестве антиоксиданта, позволяющего увеличить срок годности продукта. Однако данные исследований отечественных и зарубежных ученых, доказывающих

широкий спектр лечебно-профилактических свойств, позволили рекомендовать ДКВ в качестве пищевого ингредиента при создании профилактической пищевой продукции.

Согласно Методическим рекомендациям Государственного санитарно-эпидемиологического нормирования РФ № 2.3.1.1915-04 от 2004 г. «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ» ДКВ включен в перечень разрешенных биологически активных веществ природного происхождения. Верхний допустимый уровень потребления ДКВ равен 100 мг, а адекватный уровень потребления – 25 мг.

Ученые предполагают, что системное профилактическое введение дигидрохверцетина в пищу в пределах минимальных доз 0,0001 – 0,00001% позволит существенно увеличить продолжительность и качество жизни человека [1].

Одним из перспективных способов введения ДКВ в пищу – это обогащение молочных продуктов. Применение дигидрохверцетина в производстве молочной продукции регламентируется нормативными документами.

Согласно постановлению Главного государственного санитарного врача от 14.11.2001 г. № 36 «О введении в действие Гигиенических требований к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» дигидрохверцетин относится к пищевым добавкам, не оказывающим вредного воздействия на здоровье человека. В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» ДКВ используется в производстве сливок концентрированных, сухого молока, плавящихся сыров, шоколада в количестве 200 мг/кг.

Требования к производству и качеству готовой молочной продукции определяет ТР ТС 033/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции», а требования к безопасности – ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции».

Кроме того, требования к применению дигидрохверцетина в производстве молочных продуктов в качестве антиокислителя установлено в ГОСТ Р 54649-2011 «Консервы молокосодержащие сухие», ГОСТ 31688-2012 «Консервы молочные молоко и сливки сгущенные с сахаром», ГОСТ 31690-2013 «Сыры плавящиеся».

Требования к качеству ДКВ определены в ГОСТ 33504-2015 «Добавки пищевые. Дигидрохверцетин. Технические условия».

Согласно стандарту ДКВ представляет собой мелкокристаллический порошок от белого до кремового или светло-желтого цвета с содержа-

нием дигидрохверцетина в сухом веществе не менее 90%.

По своим химическим свойствам ДКВ мало растворим в воде, растворим в этиловом спирте и пропиленгликоле, что важно учитывать при разработке технологии производства новых продуктов.

По органолептическим характеристикам дигидрохверцетин должен соответствовать требованиям табл. 1.

Таблица 1

Органолептические показатели ДКВ

Наименование показателя	Характеристика
Вкус и запах	Слабый горьковатый вкус, без запаха
Внешний вид и консистенция	Мелкокристаллический порошок
Цвет	От белого до кремового или светло-желтого цвета

По физико-химическим показателям дигидрохверцетин должен соответствовать значениям, указанным в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели дигидрохверцетина

Наименование показателя	Значение
Массовая доля сухого вещества, %, не менее	93,0
Массовая доля дигидрохверцетина в сухом веществе, %, не менее	90,0
Массовая доля 2R3R изомера дигидрохверцетина в сухом дигидрохверцетине, %, не менее	95,0
Массовая доля родственных биофлавоноидных соединений в сухом веществе, %, не более	8,5
Посторонние примеси, в том числе смолы, в сухом веществе, %, не более	1,5
Температура плавления, °С	222-226

При этом ДКВ является нетоксичным, по степени воздействия на организм человека его относят к малоопасным веществам.

Способ внесения ДКВ зависит от технологии изготовления продукта. Так, при производстве молочных консервов, высокожирных сливок и сливочного масла дигидрохверцетин вносят в подготовленную смесь после нормализации. ДКВ добавляется в молочную смесь в виде водного или 10%-го водно-спиртового раствора. При производстве плавящихся сыров дигидрохверцетин вносится в смесь из измельченного сыра, восстановленного сухого молока и сливочного масла, предварительно растворенный в воде при температуре 70-80°С. Внесение дигидрохверцетина при

производстве сметаны заключается в растворении дигидрокверцетина в части гомогенизированных сливок. При изготовлении кисломолочных продуктов дигидрокверцетин вносится перед сквашиванием в молоко, прошедшее тепловую обработку.

Важно отметить, что благодаря свойствам антиокислителя, ДКВ способствует увеличению срока годности продукта, сохранению биологической ценности и органолептических показателей продукта [5]. Наряду с этим внесение в молочный продукт дигидрокверцетина способствует обогащению продукта антиоксидантами и приданию парафармацевтических свойств.

Таким образом, использование ДКВ в составе продуктов ежедневного потребления может оказать существенное положительное влияние на мобилизацию сил организма для преодоления неблагоприятного воздействия факторов внешней среды.

Список литературы

1. Решетник, Е.И. Обоснование и разработка технологии производства пищевых продуктов с применением дигидрокверцетина. // Дальневосточный аграрный вестник. 2007. №1. С. 130-132.
2. Бритов А.Н., Апарина Т.В. Роль «Капилара» (дигидрокверцетина) в коррекции гемодинамических и метаболических нарушений у больных с атеросклерозом и артериальной гипертонией // Региональное кровообращение и микроциркуляция. 2006. Т.5. №2. С. 46-53.
3. Дигидрокверцетин и арабиногалактан – природные биорегуляторы в жизнедеятельности человека и животных, применение в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: монография / Ю.П. Фомичев, Л.А. Никанова, В.И. Дорожкин, А.А. Торшков, А.А. Романенко, Е.К. Еськов, А.А. Семенова, В.А. Гоноцкий, А.В. Дунаев, Г.С. Ярошевич, С.А. Лашин, Н.И. Стольная. М.: Научная библиотека, 2017. 702 с.
4. Фомичев Ю.П., Никанова Л.А., Лашин С.А. Дигидрокверцетин и арабиногалактан – природные биорегуляторы, применение в сельском хозяйстве и пищевой промышленности // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. №3. С. 21-32.
5. Кудрявцева Е.Н., Головина А.А. Применение дигидрокверцетина в пищевой промышленности // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. №20. С. 269-271.

Сведения об авторах

Зяблицева Мария Анатольевна – канд. с.-х. наук, ст. преподаватель каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mariya.zyabliceva@bk.ru

Додонова Надежда Александровна – студентка гр. ТПп-19-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ndodonova01@gmail.com

УДК 642

РАЗВИТИЕ РЫНКА ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ ФРАНЦИИ

Зяблицева М.А., Витушкина А.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Французская кухня является частью Всемирного нематериального культурного наследия человечества. Рынок общественного питания характеризуется многообразием видов традиционных заведений, таких как кафе, брассери, бушоны, буланжери. В результате влияния пандемии ресторанный бизнес Франции потерпел значительные убытки. При этом на фоне снижения темпов развития ресторанного бизнеса отмечается рост количества заведений формата Fast casual и Fast food.

Ключевые слова: рынок общественного питания, Франция, ресторан, фаст-фуд, кулинария.

Французская кухня является частью Всемирного нематериального культурного наследия человечества. Согласно решению ЮНЕСКО в 2010 году гастрономическое искусство Франции признано достоянием человечества [1]. Такого решения ранее не была удостоена ни одна кухня мира.

Признанию французской кухни эталонной способствовало несколько факторов. Прежде всего, это уникальное географическое расположение. Территория Франции располагается в умеренных широтах и делится на четыре климатические зоны. На западе – атлантическая, в центре и на востоке – континентальная, на юге – альпийская и средиземноморская. Умеренный климат с мягкими зимами способствовал развитию разнообразных отраслей сельского хозяйства. Ведущей отраслью является животноводство мясо-молочного направления. Развито растениеводство, виноградарство и садоводство. Значительная береговая линия, омываемая водами Северного и Средиземного моря, Ла-Манша, Атлантического океана, делает неотъемлемой частью экономики страны морской рыбный промысел.

Такая богатая и разнообразная сырьевая база способствовала тому, что уже в XVII веке кулинария становится неотъемлемой частью жизни каждого француза. Вопросам гастрономии уделялось особое внимание, в том числе на государственном уровне. Многовековой опыт французских кулинаров бережно передавался из поколения в поколение и закреплялся в многочисленной французской литературе [2].

В настоящее время французскую кухню условно делят на три части: *cuisine regionale* — региональная кухня; *cuisine bourgeoise* — общераспространенная французская кухня и *haute cuisine* — чрезвычайно изысканная кухня.

Важно отметить, что гастрономии во Франции присущ важный социальный аспект. Процесс принятия пищи для французов неразрывно связан с национальной самоидентификацией. В связи с чем предприятия общественного питания во Франции – это часть повседневной жизни каждого жителя.

Цель данной работы – изучение развития рынка общественного питания Франции в условиях пандемии. Для достижения поставленной цели был проведен сбор и анализ данных средств массовой информации.

Индустрия общественного питания во Франции представлена значительным количеством видов заведений с различным уровнем обслуживания. При всем многообразии можно выделить два типа предприятий: коммерческие и коллективные. К коммерческим относят небольшие семейные буланжери, кондитерские, сырные лавки, винные погреба. Также крупные рестораны, удостоенные звезд Мишлен, и небольшие рестораны региональной кухни, кафе и бары.

Французы гордятся своей богатой гастрономической историей, а потому стремятся сохранить небольшие рестораны с традиционной кухней. Одним из традиционных видов предприятий являются рестораны-бушоны.

Бушоном может называться только заведение прошедшее специальную процедуру сертификации и выполнившее ряд требований. В меню ресторана должны быть кнели, блюда из свинины, тарт с пралине, террин из куриной печени. В интерьере должны преобладать теплые тона, столы располагаться близко друг к другу, мебель должна быть деревянная, а скатерти — в красно-белую клетку. Отличает настоящий бушон от других ресторанов идентификационный стикер на стекле витрины и титул *Les Authentiques Bouchons Lyonnais* [2].

Основная часть ресторанов-бушонов расположена в гастрономической столице Франции городе Лионе, где их насчитывается порядка двадцати. Многие из них отмечены в гиде Мишлен. Кроме того, именно в Лионе расположена одна из самых известных во всем мире кулинарных школ и ресторан шеф-повара Поля Бокюза [3].

Буланжери – это традиционная пекарня-кондитерская, ассортимент которой составляют такие национальные хлебобулочные изделия как багеты, киши, круассаны, тарты, эклеры. Как и в бушопах, интерьер традиционных буланжери должен соответствовать ряду требований. Интерьер оформляют в деревенском стиле с преобладанием светлой мебели из натуральных материалов. Традиционно в буланжери акцент сделан на продаже свежей выпечки. В связи, с чем зал для посетителей занимает небольшую площадь либо отсутствует вовсе.

Простая домашняя кухня во Франции ценится не меньше, чем ужин в ресторане, поэтому у местных жителей особой популярностью пользуются бистро, брассери и кафе.

Бистро – это небольшое кафе, меню которого составляют бюджетные, простые блюда французской кухни. Интерьер выполнен в простом стиле, а особенностью данного вида заведений является то, что открыты они только в утренние и вечерние часы.

Брассери – вид кафе с постоянным меню. В отличие от бистро в меню сделан акцент на ассортименте пива и закусок к нему.

Самым распространённым видом предприятий общественного питания является кафе. В отличие от бистро и брассери, кафе – это прежде всего место для времяпрепровождения, которому сопутствует неспешная трапеза. Традиционно французы посещают кафе в обеденные и вечерние часы, поэтому интерьеру здесь уделяется особое внимание. Меню может состоять только из кофе и десертов либо содержать полный перечень блюд.

Кроме собственно кулинарии во Франции высоко развито кондитерское искусство. Продукция местных кондитеров обычно продается в патисери – традиционной кондитерской, изготавливающей широкий ассортимент французских десертов и выпечки.

Франция известна своим многообразием сыров и вин, которые занимают ведущее место во французской кухне. Согласно статистике, 62 % жителей страны едят сыр каждый день, ежегодно употребляя 24 кг сыра [4].

Весь ассортимент сыров местных производителей можно найти в сырных лавках – fromagerie, а вина в винных погребах – cave a vin, которые

также составляют национальный рынок производителей продуктов питания.

Согласно статистическим данным во Франции около 168000 ресторанов, что составляет примерно 48 % от общего числа предприятий общественного питания (рис. 1) [5].



Рис. 1. Сегменты рынка общественного питания Франции

Основную часть ресторанов составляют заведения с блюдами традиционной французской кухни. Однако также представлены заведения итальянской, испанской, тайской, японской и русской кухни.

Особую категорию ресторанов составляют рестораны «высокой кухни». Блюда заведений данной категории отличаются изысканностью, в основе которой сложное приготовление, необычные продукты и особенная презентация.

Однако, несмотря на разнообразие истинно-французских заведений, одним из основных трендов развития современного рынка общественного питания Франции является рост количества ресторанов форматов Fast casual и Fast food. Как и во всем мире, рост занятости населения приводит к необходимости быстрого, сытного и бюджетного питания, чем обусловлено увеличение количества пиццерий, бургерных и такерий. При этом традиции французской кулинарии оказали свое влияние на предприятия этого сектора. Одной из особенностей французской кухни является использование свежего сырья местных производителей. Такие крупные мировые бренды, как «Mac Donalds», «Burger King», «KFC», учли гастрономические особенности французской кухни. Для этого была проведена адаптация состава блюд, путем включения в них местных сыров, овощей и фруктов, что существенно повысило популярность данных заведений у потребителей, как среди туристов, так и местного населения [5].

Анализируя развитие рынка общественного питания, можно отметить, что, несмотря на богатые гастрономические традиции, потребитель-

ский рынок характеризуется увеличением числа заведений сегмента фаст-фуд.

В настоящее время в связи с пандемией во Франции введены жесткие ограничительные меры в работе предприятий питания. Большинство из них закрыты. Однако кафе и рестораны быстрого питания работают в формате «еда на вынос» и доставка еды на дом или на рабочее место потребителя [6, 7]. Набирают популярность заведения общественного питания, где отсутствует залы для посетителей, а заказ осуществляется через интернет-платформы, такие как Deliveroo или UberEats.

Попытки ресторанов высокой кухни внедрить услуги доставки оказались невыгодными для предприятий из-за высокой себестоимости блюд, в связи с чем заведения закрыты на неопределенный срок.

Таким образом, пандемия оказала существенное влияние на развитие рынка общественного питания Франции. Ограничение передвижения и платежеспособности населения привели к тому, что к сложившимся условиям смогли адаптироваться лишь предприятия, ориентированные на бюджетный сегмент потребителей. Традиционные предприятия питания несут прямые и косвенные убытки, что приводит к сокращению их количества и одновременно к укреплению позиций заведений формата Fast food.

В данных обстоятельствах правительство страны оказывает меры поддержки традиционным заведениям питания с целью сохранения уникаль-

ных гастрономических традиций Франции. Предприятия освобождают от налогов и сокращают величину социальных отчислений. Все эти меры должны помочь предприятиям диверсифицировать свою деятельность, адаптироваться и быть конкурентоспособными в новых условиях.

Список литературы

1. В Найроби завершилась неделя Всемирного нематериального наследия. URL: http://www.unesco.org/new/ru/culture/themes/dynamic-content-single-view/news/nairobi_close_of_a_weeks_celebration_of_intangible_cult/.
2. Лисова О.В. Сложная простая французская кухня // Все о мясе. 2010. № 2. С. 56-58.
3. La tradition en mouvement. URL: <https://bocuse.fr/fr/tradition-en-mouvement.html>.
4. Французские сыры. URL: <http://visitefrance.ru/france/francuzskie-syry.html>.
5. En France, plus de 30 000 bars et restaurants pourraient fermer définitivement. URL: <https://food.konbini.com/news/en-france-plus-de-30-000-bars-et-restaurants-pourraient-fermer-definitivement/> Par Konbini Food, publié le 07/10/2020.
6. Le marché de la restauration en 2021. URL: <https://www.immoprolyon.fr/actualites/marche-de-la-restauration/>.
7. Synthèse des résultats sur la restauration. URL: https://www.lyon-metropole.cci.fr/upload/docs/application/pdf/2015-07/synthese_restauratation.pdf.

Сведения об авторах

Зяблицева Мария Анатольевна – канд. с.-х. наук, ст. преподаватель каф. химии, ФГБОУ ВО «ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mariya.zyabliceva@bk.ru

Витушкина Анна Сергеевна – студентка гр. зТПп-19-1, ФГБОУ ВО «ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 331.4:331.5:331.44:616-036.21:578.834.1

МОТИВАЦИЯ ПЕРСОНАЛА В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ

Ханнанова А.Р., Волкова Е.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье исследованы вопросы мотивации персонала в период пандемии. Существует множество проблем менеджмента, в числе которых ключевое значение приобрел вопрос непосредственной модернизации процесса управления мотивацией на любом предприятии. Данная область является многозадачной, в качестве одной из ее задач на сегодняшний день выступает задача повышения производительности производства на основе непосредственного всестороннего развития и рациональности использования собственно творческого человеческого потенциала, роста степени его квалифицированности в данной области, уровня компетентности, степени ответственности, непосредственной инициативы. Без мотивированных и квалифицированных сотрудников ни одна организация не в состоянии создать хорошо работающие системы маркетинга, продаж, финансов или бухгалтерского учета, особенно в ограниченных условиях ковидной пандемии. В качестве непосредственной устремленности сотрудников организации к достижению поставленных целей предприятия по существу выступает ключевая задача руководителей персоналом, а обеспечить ее реализацию можно, только используя мотивацию.

Ключевые слова: мотивация, персонал, стимулы, персонал, ковидная пандемия, производительность, благополучие сотрудников.

В 2020 г. в условиях ковидной пандемии (эпидемии COVID-19) организации были вынуждены перейти на абсолютно новые методы работы, выстраивая свою деятельность с учетом влияния коронавирусной инфекции как на людей, так и на экономику. Компаниям приходилось реагировать на неожиданно возникшие и быстро меняющиеся сложные условия, прогнозируя и планируя различные события. На этом фоне проявились недостатки стратегий управления персоналом и в области мотивации в том числе. Всем пришлось убедиться на собственном опыте, что в условиях, меняющихся как в калейдоскопе, способы и сроки достижения целей следует корректировать максимально оперативно.

План действий в непредвиденных ситуациях – далеко не все, что требуется организациям, работающим в подобной среде. Еще более насущным является фундаментальное изменение модели мышления – смещение центра внимания с выживания на процветание. В мире непрерывных глубоких перемен концентрация усилий на выживании сужает возможности организаций по восприятию новой реальности во всем ее разнообразии и затрудняет осуществление деятельности в ее рамках. В рамках привычной логики выживания радикальные перемены рассматриваются организациями как преходящие кризисные явления, после которых все должно вернуться «на

круги своя». Компания, нацеленная на выживание, настроена взаимодействовать с той реальностью, с которой она уже столкнулась — она делает все, чтобы преуспеть в сложившихся условиях.

Организация, ставящая своей целью процветание, готова воспринимать любую новую реальность и использовать эту ситуацию для переосмысления норм и оценок с применением недоступных ранее методов. Логика процветания основана на том, что процесс кардинальных перемен в окружающей действительности носит не эпизодический, а непрерывный характер и способен стать катализатором движения компании вперед. Организации, руководствующиеся логикой процветания, стремятся создавать и выбирать реальность, в которой они хотят делать то, что возможно, не ограничиваясь целью преуспеть сегодня, а стремясь владеть ситуацией в перспективе.

Мы считаем, что переход от модели выживания к модели процветания зависит от того, сумеет ли организация выстроить и продолжать вести свою деятельность целиком и полностью в интересах человека. Речь идет не только о новом образе мышления и действий, а о совершенно ином виде существования, когда каждый вопрос, каждая задача и каждое решение рассматриваются прежде всего с точки зрения влияния на людей. И это не просто хорошая идея, а обязательное условие роста. В сложившихся сегодня условиях высокой нестабильности требуется немало смелости, рассудительности и гибкости, которые могут быть

продемонстрированы только человеком и командами под руководством человека.

Однако непосредственные попытки адаптации имеющихся и проверенных временем и опытом классических теорий мотивации к организациям разного рода отраслей деятельности в большей степени не являются систематизированными, что приводит собственно к затруднениям относительно практического применения существующих технологий и методик мотивации персонала на предприятиях в период ковидной пандемии.

Наличие непосредственной связи мотивации со стимулированием трудовой деятельности обладает исключительной важностью в процессе привлечения, мотивирования и сохранения в организации так называемой рабочей силы. Действенный характер системы оплаты и стимулирования непосредственно трудовой деятельности ведет к увеличению производительности работников, указывает направление их деятельности в целях организации, что, в свою очередь, ведет к увеличению уровня плодотворности применения человеческих ресурсов. Уровень экономической действенности человеческой деятельности в большей степени зависит от целей, которые с его помощью стремятся достичь, их основой при этом выступают потребности, интересы и стимулы непосредственных субъектов труда [2, с. 51].

Контроль и поддержка поведения, которое ориентировано на достижение поставленной цели, находит свое выражение в некоторой настойчивости на пути к достижению собственно цели. Эффект мотивации выражается в непосредственном преобразовании собственно человека в страстного и заинтересованного. В частности, тот человек, характер поведения которого обусловлен финансовой мотивацией, который стремится к тому, чтобы как можно больше заработать денег, в тех или иных случаях и при условии тех или иных обстоятельств вынужден производить собственные действия согласно данному приоритету. Те задачи, что поставлены перед ним, либо те, посредством которых могут открыться новые возможности, им будут рассматриваться по преимуществу с позиции заработка.

По мере распространения коронавирусной инфекции в мире забота о благополучии осталась в числе приоритетных направлений работы для руководителей организаций. Обсуждение последствий социальной изоляции и экономической рецессии для психологического и эмоционального здоровья работников ведется уже на общественном уровне, а поддержание их хорошей физической формы и обеспечение безопасности по-прежнему входит в число самых важных задач.

Некоторые организации идут на чрезвычайные меры, чтобы защитить и поддержать своих сотрудников.

Ситуация с коронавирусной инфекцией напомнила нам о необходимости решения двуставной задачи: обеспечении благополучия сотрудников и трансформации рабочих процессов. Тем не менее руководители упускают из виду важность связи между ними. Организации, превращающие заботу о благополучии сотрудников в неотъемлемую часть рабочего процесса на уровне отдельного сотрудника, команды и всей компании, способны обеспечить стабильное и комфортное будущее для работников, позволив им демонстрировать максимальную эффективность.

Планирование включения темы благополучия в рабочие процессы относится к видам деятельности, которые следует постоянно развивать, укреплять и подвергать проверке, чтобы поддерживать эффективность на оптимальном уровне. Поскольку характер работы, выполняемой в организациях, стремительно меняется, применяемые ею способы поддержания благополучия на уровне отдельных работников и команд должны меняться одновременно с ним. Забота о благополучии уже не сводится исключительно к соблюдению баланса между работой и личной жизнью. Эпидемия коронавируса показала, что благополучие основано не только на данном балансе, но подразумевает взаимную интеграцию этих двух понятий. Когда организация успешно справляется с интеграцией заботы о сотрудниках в рабочие процессы, вопрос благополучия оказывается неразрывно связанным с работой, учитывается на всех уровнях и во всех средах организации, стимулируя не только производительность, но и раскрытие потенциала работников.

В целом, говоря о проблемах мотивации в период ковидной пандемии, стоит отметить, что научная, так и публицистическая современная литература содержит в себе множество публикаций относительно темы мотивации персонала, поскольку данная проблема широко распространена. В качестве недостатка, объединяющего все существующие позиции и мнения как с практической, так и с теоретической точки зрения относительно указанной проблемы, выступает полное отсутствие системности подхода к изучению рассматриваемого процесса, так как условия пандемии и влияние внешних факторов не предсказуемо. Однако при этом наличие беспристрастного исследования данной проблемы предоставляет возможность для выявления в разного рода существующих мнениях и трактовках немалый массив ценной информации, использование кото-

рой возможно в процессе построения целостно выстроенной, стройной и логичной теории мотивации персонала в период ковидной пандемии.

Выстраивание деятельности целиком и полностью в интересах людей составляет сущность социального предприятия. Для того чтобы сочетать цели в области увеличения выручки и получения прибыли с уважительным и внимательным отношением к среде и ко всем заинтересованным сторонам, от организации требуется применение понятий общечеловеческого контекста, таких как целеполагание и смысл, этичность и справедливость, рост и вовлеченность, взаимодействие и связи, прозрачность и открытости. Учет этих понятий в своей деятельности обеспечивает организации нацеленность на человеческие интересы и в конечном итоге служит залогом процветания для социального предприятия, позволяя непрерывно находить для себя новую форму и содержание в условиях постоянных глубоких перемен. По мере перехода организаций от моделей выживания к моделям процветания решения должны приобретать более динамичный характер, чтобы в полной мере использовать сильные стороны, позволяющие компаниям двигаться к успеху.

Список литературы

1. Михайлов А. А., Федулов В.И. Подходы к управлению персоналом в условиях удаленной занятости // ЕГИ. 2020. №3 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-upravleniyu-personalom-v-usloviyah-udalennoy-zanyatosti> (дата обращения: 14.05.2021).
2. Островский Д.И., Иванова Т.И. Влияние новой коронавирусной инфекции covid-19 на психическое здоровье человека (обзор литературы) // Омский психиатрический журнал. 2020. №S2-1 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-novoy-koronavirusnoy-infektsii-covid-19-na-psihicheskoe-zdorovie-cheloveka-obzor-literatury> (дата обращения: 14.05.2021).
3. Пономарев В.М., Ульянов В.А. Влияние мотивации труда на повышение безопасности персонала // Наука и техника транспорта. 2012. № 2. С. 106-112.
4. Сафонов А.Ю. Управление персоналом в период пандемии // Московский экономический журнал. 2020. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-personalom-v-period-pandemii> (дата обращения: 14.05.2021).
5. Солдатова С.С., Солдатова В.В. Российский рынок труда в условиях нарастания экономического кризиса вследствие пандемии // StudNet. 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rossiyskiy-rynok-truda-v-usloviyah-narastaniya-ekonomicheskogo-krizisa-vsledstvie-pandemii> (дата обращения: 14.05.2021).

Сведения об авторах

Ханнанова Алина Рафаиловна – студентка гр. ТБЖ6-17, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

Волкова Елена Александровна – канд. техн. наук, проф. РАЕ, доц. каф. ПЭиБЖД, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: valena.dom@rambler.ru

УДК 51.74

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЕЛ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Бондаренко Т.А., Бондарев Е.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Теория функции комплексного переменного является составной частью курса математики для технического вуза. Знания математики студенты используют при освоении дисциплин своего профиля подготовки, в частности при изучении электротехники. Исследование электрических цепей переменного тока зачастую приводит к громоздким тригонометрическим вычислениям. Использование комплексных чисел позволяет решить задачу в несколько строк. При решении задач с помощью векторов удобно перейти к комплексной записи токов или напряжений и выполнить построения на комплексной плоскости.

В статье изучаются свойства и методы анализа режимов работы однофазных цепей синусоидального тока при различных соединениях ветвей. При известных параметрах элементов рассчитываются символическим методом сопротивления, токи, напряжения, фазовые углы и мощности потребления энергии.

Ключевые слова: комплексные числа, синусоидальный ток, алгебраическая запись, тригонометрическая запись, показательная форма записи.

Введение

Комплексным числом называется выражение вида

$$S = a + ib,$$

где a – действительная часть, $Re(S)$;

b – мнимая часть $Im(S)$;

$$i = \sqrt{-1}.$$

Комплексные числа имеют несколько форм представления: алгебраическую, тригонометрическую и показательную. Формула Эйлера позволяет осуществить переход от одной формы записи к другой. Выражение, представляющее комплексное число в виде суммы действительной и мнимой частей, называется алгебраической формой представления комплексных чисел [1].

При работе с комплексными числами важно уметь переходить от одной формы записи к другой. Связь алгебраической и тригонометрической форм:

$$|S| = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}, \quad a = |S| \cos \varphi,$$

$$b = |S| \sin \varphi.$$

Тригонометрическая и показательная формы записи связаны между собой формулой Эйлера:

$$(\cos \varphi + i \sin \varphi) = e^{i\varphi}.$$

Комплексные числа в электротехнике широко применяются при исследовании электрических цепей синусоидального тока. Такие величины, как напряжение и ток, сопротивление и проводимость, мощность выражаются комплексными числами:

– комплекс действующего значения напряжения

$$\dot{U} = U e^{i\varphi};$$

– комплекс амплитудного значения тока

$$\dot{I}_m = I_m e^{i\varphi}.$$

При использовании комплексных чисел методы расчета электрических цепей переменного тока аналогичны методам расчета электрических цепей постоянного тока (метод контурных токов, метод узловых потенциалов, метод наложения и т.п.) [2, 3].

Исследование линейных электрических однофазных цепей синусоидального тока

Рассмотрим однофазные цепи синусоидального тока при смешанном соединении ветвей. Пусть известны параметры элементов данной цепи. Рассчитаем символическим методом сопротивления, токи, напряжения, фазовые углы и мощности потребления энергии [4].

Для заданной смешанной схемы соединения ветвей (рис. 1) рассчитаем угловую частоту ω и сопротивления катушек и конденсаторов.

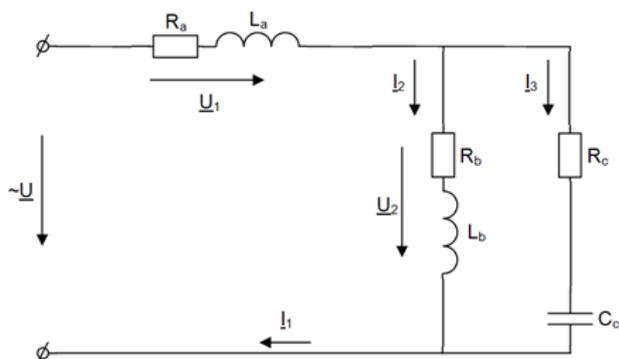


Рис. 1. Схема линейной электрической однофазной цепи синусоидального тока со смешанным соединением ветвей

При синусоидальном напряжении источника $U = 10$ В рассчитаем токи I_1, I_2, I_3 и падения напряжения на участках цепи U_1, U_2 . Определим углы сдвига фаз между входным напряжением и током – φ , а также между напряжениями и токами участков цепи – $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные параметров цепи

Частота, Гц	Элементы схемы					
	$R_a, \text{ Ом}$	$L_a, \text{ Гн}$	$R_b, \text{ Ом}$	$L_b, \text{ Гн}$	$R_c, \text{ Ом}$	$C_c, \text{ Ф}$
300	273	$90,2 \cdot 10^{-3}$	207	$100 \cdot 10^{-3}$	118	$2 \cdot 10^{-6}$

1. Расчет реактивных сопротивлений:

$$X_{L_a} = 2\pi f L_a = 170 \text{ Ом};$$

$$X_{L_b} = 2\pi f L_b = 188,4 \text{ Ом};$$

$$X_{C_c} = \frac{1}{2\pi f C_c} = 265,4 \text{ Ом}.$$

2. Комплексные сопротивления участков цепи:

$$\underline{z}_1 = R_a + R_{L_a} + iX_{L_a} = 336,2e^{i30,4^\circ};$$

$$\underline{z}_2 = R_b + R_{L_b} + iX_{L_b} = 293,5e^{i40^\circ};$$

$$\underline{z}_3 = R_c - iX_{C_c} = 118 - i265,4 = 290,4e^{-i66^\circ}.$$

3. Комплексное полное сопротивление второй и третьей ветвей:

$$\underline{z}_{23} = \frac{\underline{z}_2 \cdot \underline{z}_3}{\underline{z}_2 + \underline{z}_3} = 242,5e^{-i13,3^\circ} = 236 - i55,8.$$

4. Полное сопротивление цепи:

$$\underline{z} = \underline{z}_1 + \underline{z}_{23} = 526 + i14,2 = 538,3e^{i2,2^\circ}.$$

5. Комплексные токи и напряжения на участках цепи:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{z}} = \frac{10}{538,9e^{i2,2^\circ}} = 0,019e^{i12,2^\circ};$$

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot \underline{z}_1 = 6,4e^{i18,2^\circ};$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_1 \cdot \underline{z}_{23} = 4,6e^{-i25,5^\circ};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{\underline{z}_2} = 0,015e^{i65,5^\circ};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_2}{\underline{z}_3} = 0,016e^{i40,5^\circ}.$$

6. Углы сдвига фаз между токами и напряжениями:

$$\varphi = -12,2^\circ; \quad \varphi = 18,2^\circ;$$

$$\varphi = -65,5^\circ; \quad \varphi = 40,5^\circ.$$

7. Мощности потребления энергии:

– Активная мощность $P = UI \cos \varphi = 0,19$ Вт .

– Реактивная мощность $Q = UI \sin \varphi = -0,04$ ВАР .

– Модуль полной мощности $S = UI = 0,19$ ВА .

По результатам расчетов символическим методом сопротивлений, токов, напряжений, фазовых углов и мощности потребления энергии на лабораторном стенде экспериментально были проверены результаты теоретического моделирования, которые представлены в табл. 2.

Закключение

При решении задач электротехники применение комплексных чисел позволяет использовать законы, формулы и методы расчётов параметров цепей переменного тока, применяющиеся в цепях постоянного тока. А также упрощает некоторые вычисления, позволяет заменять графическое решение с использованием векторов алгебраическим решением, рассчитывать сложные цепи, не решаясь другим путем, упростить расчеты параметров цепей переменных токов.

Таблица 2

Результаты эксперимента и теоретического моделирования

Условия проведения	$U, \text{ В}$	$U_1, \text{ В}$	$U_2, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$I_3, \text{ А}$	$\varphi, \text{ град}$	$\varphi_1, \text{ град}$	$\varphi_2, \text{ град}$	$\varphi_3, \text{ град}$
Расчет	10	6,4	4,6	0,019	0,015	0,016	-12,2°	18,2°	-65,5°	40,5°
Эксперимент	10	6,4	4,4	0,018	0,014	0,013	-12°	18°	-65°	41°

Список литературы

1. Рябушко А.П. Высшая математика. Теория и задачи. В 5 ч. Ч. 2. Комплексные числа. Неопределенный и определенный интегралы. Функции нескольких переменных. Обыкновенные дифференциальные уравнения: учебное пособие. Мн.: Высшая школа, 2016. 271 с.: ISBN 978-985-06-2766-7. Текст: электронный. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1012159> (дата обращения: 16.05.2021).
2. Шмидт Н.М. Приложение комплексных чисел в электротехнике // Молодой ученый. 2012. № 2 (37). С. 320-323. URL: <https://moluch.ru/archive/37/4252/> (дата обращения: 12.06.2021).
3. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: учебное пособие. 6-е изд., стер. СПб.: Лань, 2008. 592 с.
4. Башарин С.А. Теоретические основы электротехники. Теория электрических цепей и электромагнитного поля: учебное пособие. М.: Academia, 2004. 304 с.

Сведения об авторах

Бондаренко Татьяна Алексеевна – канд. пед. наук, доц. каф. ПМИИ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: bondarenko_ta@mail.ru

Бондарев Егор Сергеевич – студент гр. АНБ-19-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск



УДК 664.8.014

ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ ОЛОВА ИЗ КОНСЕРВНОЙ ТАРЫ

Тарасюк Е.В., Коляда Л.Г., Гришина Е.К.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Ионы металлов представляют серьезную опасность для здоровья вследствие их способности накапливаться в определенных органах людей и животных, приводя к различного рода заболеваниям. В работе рассмотрены особенности миграции олова с внутренней поверхности металлической консервной тары в модельные среды, имитирующие пищевые продукты. Содержание олова определяли фотометрическим методом анализа в соответствии с ГОСТ 26935–86 «Продукты пищевые консервированные. Метод определения олова». Установлено, что содержание олова в полученных вытяжках значительно превышает показатели санитарно-гигиенических норм.

Ключевые слова: консервная тара, миграция, олово, модельные среды, коррозия, фотометрический метод анализа.

Большое значение при длительном хранении пищевых продуктов придается таре и упаковке. Металлическая тара из белой жести – один из старейших способов сохранения пищевой продукции и насчитывает более 200 лет. Консервная тара используется для упаковки консервированной продукции и по-прежнему сохраняет устойчивые позиции в пищевой индустрии. Новые технологии, которые появились за последние десятилетия, не изменили, а только улучшили банки из жести. При использовании металлической тары для упаковки продуктов питания следует помнить о возможности миграции ионов металла в контактирующий продукт и, следовательно, в организм человека [1].

По воздействию на организм человека металлы классифицируют следующим образом: металлы, необходимые в питании человека и животных (кобальт, медь, фтор, железо, йод, марганец, молибден, никель, селен, ванадий, цинк); металлы, имеющие токсикологическое значение (мышьяк, бериллий, кадмий, медь, хром, кобальт, ртуть, фтор, марганец, молибден, никель, палладий, свинец, селен, олово, титан, ванадий, цинк).

Необходимость олова для организма человека не доказана. Неорганические соединения олова малотоксичны, органические – более токсичны, они находят применение в сельском хозяйстве в качестве фунгицидов. Основными источниками загрязнения пищевых продуктов оловом являются консервные банки, фляги, железные и медные кухонные котлы, другая тара и оборудование, которые изготавливаются с применением лужения и гальванизации. Активность перехода олова из по-

суды и оборудования в пищевой продукт возрастает при температуре выше 20°C, высоком содержании в продукте органических кислот, нитратов и окислителей, которые усиливают растворимость олова. Опасность отравления оловом увеличивается при постоянном присутствии его спутника – свинца. Не исключено взаимодействие олова с отдельными компонентами пищи и образование более токсичных органических соединений. Повышенная концентрация олова в продуктах придает им неприятный металлический привкус и изменяет их цвет. После употребления пищи с содержанием олова 250 мг/кг возникают тошнота, рвота и другие симптомы отравления [1-3].

Консервную тару изготавливают из стали и покрывают тонким слоем олова изнутри и снаружи. Такое покрытие является обязательным элементом конструкции тары, играя большую роль в определении срока годности расфасованного продукта. На сохранение качества консервированных пищевых продуктов влияют три основные группы факторов:

- органолептические свойства исходного продукта, в том числе цвет, вкус, аромат и текстура;
- стабильность показателей пищевой ценности;
- взаимодействие с упаковкой.

В пищевые продукты олово из внутреннего покрытия тары попадает, постепенно мигрируя в период хранения. Его содержание в продукте будет зависеть от времени и условий хранения.

Коррозию в консервной таре, в частности растворение олова с поверхности белой жести, связывают с работой микрогальваноэлементов «железо – пищевая среда – олово», возникающих в порах оловянного покрытия. При работе такого

элемента один из электродов, выполняющий функцию анода, непрерывно растворяется. В большинстве пищевых консервных сред олово по отношению к железу является анодом. Суммарный переход олова в продукт, вызванный работой гальванических пар Fe-Sn находится в прямой зависимости от количества пор в оловянном покрытии и, следовательно, от толщины слоя олова. Толщина слоя олова на жести электролитического лужения равна 0,7-1,1 мкм, а пористость – 7-12 пор/см² [4].

Выделение и миграция олова происходит очень медленно – для не покрытой изнутри лаком банки с консервированными в сиропе ломтиками персиков размер миграции составляет около 3–4 мг/кг в месяц, и в течение всего ожидаемого срока годности содержания олова в персиках слишком высоким не становится [2].

На коррозию консервной тары в пищевой среде влияют различные факторы: состав стали, температура, пищевая среда. Все консервированные продукты можно классифицировать по степени их агрессивности по отношению к консервной таре. Наиболее агрессивны фруктовые и овощные консервы, наименее мясные и молочные. Большинство пищевых продуктов характеризуется низкими уровнями содержания олова (менее 10 мг/кг), однако у некоторых консервированных продуктов, вступающих в контакт с оловом внутренних поверхностей банок, его содержание намного выше. Это объясняется способностью миграции олова с внутренних поверхностей консервных банок в пищевые продукты.

Целью настоящей работы являлось определение содержания олова при его миграции с внутренней поверхности консервной тары в модельные среды.

Для исследования были подготовлены модельные среды (табл. 1). В качестве консервной тары были взяты банки, бывшие в употреблении, с лакированной и нелакированной поверхностями. Для оценки миграции олова консервная тара с активированной и неактивированной поверхностью экспонировалась при комнатной температуре в течение 20 суток.

Таблица 1

Модельные среды

Модельный раствор	Продукт
3%-й раствор уксусной кислоты	Консервы мясные, мясорастительные, овощные, рыбные, овощи маринованные, квашенные, пасты и др.
2%-й раствор винной кислоты	Фруктово-овощные, ягодные консервы
3%-й раствор поваренной соли	Мясные, рыбные консервы

В соответствии с ГОСТ 26935–86 «Продукты пищевые консервированные. Метод определения олова» содержание олова в подготовленных вытяжках определяли фотометрически методом [5]. Метод основан на измерении интенсивности окраски раствора комплексного соединения олова с кверцетином желтого цвета. Это возможно благодаря протеканию реакции образования в водно-этанольных растворах комплексного соединения олова с кверцетином, окрашенного в желтый цвет, по интенсивности окраски которого и судят о количестве олова в вытяжке.

Результаты расчета концентрации олова в модельных растворах в консервной таре с неактивированной и активированной поверхностью представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что олово мигрировало с внутренней поверхности консервной тары в количествах, превышающих показатели санитарно-гигиенических норм (2 мг/дм³) [5].

Таблица 2

Количественная миграция олова

Модельная среда	Внутренняя поверхность	Массовая концентрация олова, мг/дм ³
<i>Активированная поверхность</i>		
3%-й раствор уксусной кислоты	лакированная	15,30
	нелакированная	450,00
3%-й раствор поваренной соли	лакированная	1,500
	нелакированная	22,50
2%-й раствор винной кислоты	лакированная	26,00
	нелакированная	187,50
<i>Неактивированная поверхность</i>		
3%-й раствор уксусной кислоты	лакированная	6,30
	нелакированная	18,50
3%-й раствор поваренной соли	лакированная	1,00
	нелакированная	0,60
2%-й раствор винной кислоты	лакированная	5,00
	нелакированная	57,0

Наибольшая миграция ионов олова наблюдается с нелакированной внутренней поверхности, под действием кислых сред (растворов винной и уксусной кислот), поэтому кислые консервы (маринованные, фруктовые и другие агрессивные продукты консервирования) не фасуются в банки без лакового покрытия.

Важно отметить, что миграция олова с активированной поверхности ниже, чем с неактивированной. Это объясняется тем, что при оголенной стальной основе банки перенапряжение на железе (аноде) выше, поэтому превалирует процесс растворения железа. В случае банок с лаковым покрытием такие процессы практически исключены, поэтому олово

может мигрировать только через дефекты и царапины, полученные при производстве или транспортировке, и конструкционные элементы консервной тары – закаточные швы, закрепки.

Таким образом, при использовании металлической тары для упаковки продуктов питания следует помнить о возможности миграции ионов металла в контактирующий продукт и проводить ее контроль миграции токсичных металлов из нее. Чтобы исключить загрязнение оловом пищевых продуктов, необходимо покрытие внутренней поверхности тары стойким, гигиенически безопасным лаком или полимерным материалом, а также соблюдать сроки и условия хранения баночных консервов.

Список литературы

1. Донченко Л.В., Надыкта В.Д. Безопасность пищевой продукции. В 2 ч. Часть 1: учебник для СПО / 3-е изд., испр. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2018. 264 с.
2. Упаковка пищевых продуктов / Р. Коулз, Д. Мак-Дауэл, М.Дж. Кирван: пер. с англ., под науч. ред. Л.Г. Махотиной. СПб.: Профессия, 2008. 416 с.
3. СанПин 2.3.2.560-96 Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. М.: 1997.
4. Производство и утилизация металлической тары : учебное пособие / Н.Л. Медяник, И.А. Варламова, Н.Л. Калугина, Л.Г. Коляда. Магнитогорск : МГТУ, 2014. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Загл. с титул. экрана. URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=958.pdf&show=dcatalogues/1/119000/958.pdf&view=true> (дата обращения: 01.09.2020). Макрообъект. Текст : электронный.
5. ГОСТ 26935–86. Продукты пищевые консервированные. Метод определения олова. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
6. Локс Ф. Упаковка и экология: учебное пособие / пер. с англ. О.В. Наумовой; под ред. В.А. Наумова. М.: Изд-во МГУП, 1999. 220 с.
7. Сухарева Л.А., Яковлев В.С., Мжачих Е.И. Тароупаковочные материалы в производстве и хранении пищевой продукции. М.: Пищепромиздат, 2005. 559 с.

Сведения об авторе

Тарасюк Елена Владимировна – канд. хим. наук, доц. каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: gepod@inbox.ru

Коляда Людмила Григорьевна – канд. техн. наук, доц. каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kl174@mail.ru

Гришина Елизавета Константиновна – студентка гр. ТПп-19-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

УДК 004.032.26

АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ КАТЕГОРИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНОЙ ПОЧТЫ ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Торшина О.А., Москвина Е.А., Блинова В.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Статья посвящена анализу решения задачи автоматической многокритериальной категоризации электронной почты посредством применения сверточных нейронных сетей. Описаны основные преимущества исследуемого подхода и рассмотрены некоторые методы решения частных проблем, возникающих в процессе разработки.

Ключевые слова: электронная почта, искусственная нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, предварительная обработка, векторное представление, классификация, TensorFlow, Keras, TF-IDF.

Несмотря на современную популярность мессенджеров, корпоративная почта остаётся одним из наиболее распространённых сервисов для передачи информации, особенно во внутренних структурах предприятий и фирм. Это связано с тем, что персональная почта способствует формированию информационных потоков в единой системе, упрощает коммуникации и может служить встроенным файлообменником.

Многие корпоративные организации имеют подразделения, каждое из которых характеризуется своей сферой деятельности и реализует свои конкретные функции. В связи с этим в процессе работы корпоративной почты возникает задача классификации, заключающаяся в назначении письма соответствующего отдела, способного корректно обработать поступивший запрос. В связи с развитием такого научного направления, как искусственный интеллект, всё чаще для автоматизации классификационных задач применяют нейронные сети, которые в процессе обучения способны устанавливать неявные закономерности путем сопоставления значимых признаков.

Решение задачи категоризации заключается в разработке такой логической закономерности, согласно которой можно было бы однозначно определить принадлежность исходного объекта к определённой категории. Многокритериальная классификация отличается от привычной задачи наличием не одной группы искомых классов, а нескольких категорий, которые могут быть включены друг в друга.

Важно отметить, что характеристики исследуемых объектов, влияющих на классификационное решение, зачастую не имеют формального опреде-

ления, из-за чего проанализировать входные данные и сделать необходимые выводы может быть проблематичным процессом. В силу описанных трудностей, нейронные сети имеют веское обоснование, поскольку способны делать выводы при отсутствии каких-либо априорных знаний, исключительно на основании полученного ранее опыта, обеспечивают высокую распознаваемость и показывают устойчивость к помехам и неточностям.

Таким образом, была поставлена следующая задача: создать нейронную сеть, способную определять поступающим электронным письмам соответствующую категорию. Затем, согласно полученным выводам, информация будет перенаправлена в нужный отдел для последующей обработки.

Реализацию поставленного задания можно рассматривать как последовательную совокупность следующих этапов:

1. Формирование классификационных категорий.

Для того чтобы распределить входящие сообщения, необходимо обозначить множество категорий, которые в полной мере описывали бы возможные варианты. Как правило, для этого требуется изучить достаточно большую выборку образцов, вручную подобрав соответствующие им группы. Впоследствии следует пересмотреть сформированную классификацию с целью повышения обоснованной эффективности. На этом шаге объединяют однотипные классы, схожие по своему функциональному назначению, и критерии, являющиеся практически не целесообразными.

2. Предварительная обработка электронных писем.

В случае обработки нейронной сетью текстовой информации рационально перед подачей со-

общения на вход провести его предварительную обработку с целью формирования более точного анализа за счёт устранения всевозможных помех, а также экономии вычислительных ресурсов [5]. Предобработку можно проводить в несколько независимых друг от друга операций. В ходе выполнения поставленного задания была применена фильтрация и нормализация. В процессе фильтрации удаляется вся избыточная и малозначимая информация. К ней можно отнести как знаки пунктуации и html-код, так и «стоп-слова», имена собственные и другие элементы текста, не несущие смысловой нагрузки. Нормализацией называется серия операций, в результате которых текст приводится к установленному каноническому виду. В частности, для преобразования сообщений был использован стемминг – процесс определения основы слова путём отсечения от него приращков корня. В связи с тем, что стеммер действует без знания контекста, процедура является весьма грубой, но с учетом того, что корпоративная почта ограничена интересами представленной ею компании, чаще всего этого достаточно.

В основе реализации описанной последовательности действий лежит работа с регулярными выражениями, реализованная на C#. Регулярными выражениями называют такие текстовые конструкции, которые описывают собой специальные команды, позволяющие выделить некоторый характерный элемент из исходного документа [3].

3. Составление словаря слов и векторного представления.

Известно, что нейронная сеть не способна воспринимать словесные элементы напрямую, лишь только сигналы или же числовые значения. По этой причине возникает необходимость составить векторное представление обрабатываемых документов. Для того чтобы осуществить преобразование, чаще всего применяют определённые словари, в которых содержатся слова, представленные в исходных данных. Для составления такого списка было решено выделить наиболее значимые слова и преобразовать их в векторы. Тогда получить представление целого сообщения можно при помощи элементарных операций, путём сложения векторов всех встречающихся в нём слов, предварительно описанных в словаре. И так, для каждого встреченного слова был подсчитан его TF-IDF-коэффициент, позволяющий простым образом оценить важность относительно всего набора документов [1]. Вычисления производились по формуле

$$TD-IDF(t, d, D) = \frac{n_t}{\sum_k n_k} \cdot \log \frac{|D|}{|\{d_i \in D | t \in d_i\}|}, \quad (1)$$

где n_t – количество повторений слова t в документе d ;

$\sum_k n_k$ – общее число слов в документе d ;

$|D|$ – общее количество документов в выборке;

$|\{d_i \in D | t \in d_i\}|$ – число документов, в которых встречается слово t .

При таком подходе наиболее важные термины будут находиться в начале списка, упорядоченного по убыванию TF-IDF. Тогда для словаря можно выбрать лишь некоторую часть из него, либо ограничиваясь конкретным размером, либо выбрав нижнюю границу вероятности появления слова в тексте.

После того как словарь слов был окончательно сформирован, его необходимо закодировать в числовом виде. С этой целью было применено прямое кодирование, которое предполагает, что каждый элемент кодируется отдельным вектором, содержащим с единицей на диагонали [4]. В результате каждое письмо будет представляться неким набором координат, состоящим из 0 и 1, который уже можно подать на вход нейронной сети.

4. Построение модели нейронной сети.

В настоящее время существует множество различных типов ИНС, отличающихся друг от друга по многим параметрам, таких как количество нейронных слоев, характер связи между ними, свойственные для сети способы обучения и многие другие. В процессе решения конкретной задачи нередко наиболее подходящие варианты тестируются экспериментальным путем. В конечном счете, для построения классификатора была применена сверточная нейронная сеть (СНС), изначально разработанная для эффективного распознавания объектов на изображении. Было показано, что она позволяет достичь значительных результатов и при работе с текстовыми документами, выигрывая в точности на 10-15% в среднем по сравнению со стандартными для такой задачи моделями сетей [2]. Главная отличительная способность СНС заключается в том, что она производит деление искомым данным, осуществляя их последовательную обработку по определённому правилу.

Перед тем как перейти к построению модели нейронной сети, необходимо выделить обучающую выборку, как образец для последующего применения средств сети, и текстовую выборку,

позволяющую определить рациональность сформированного результата. Очевидно, положительный результат достигается не только за счёт успешного построения сети, но и благодаря репрезентативности обучающей выборки [6]. Для того чтобы набор избранных данных был информативным, требуется выполнение следующих свойства: достаточность, разнообразие, непротиворечивость и равномерность.

Для построения модели нейронных сетей на языке программирования Python чаще всего применяют библиотеку TensorFlow и фреймворк, способный работать в качестве её надстройки, Keras. В совокупности они позволяют управлять объектами моделирования нейросети, обеспечивая гибкую настройку параметров, не углубляясь при этом в математическую составляющую вопроса. Важным преимуществом описанного аппарата является возможность применения средств графического процессора для распараллеливания вычислений при разработке глубоких нейронных сетей.

Поскольку искомая задача предполагает построение многокритериальной классификации с несколькими вложенными категориями, можно выделить два принципиально различных подхода к построению множества вывода нейронной сети. В первом случае все категории попарно складываются, и в результате формируется вектор, каждая координата которого описывает конкретную совокупность вариативного решения. Во втором случае для каждой подкатегории формируется своя, более простая, нежели в первом случае нейронная сеть, которая принимает на вход объект согласно работе предшествующих аналитических операций. На основе экспериментальной проверки был сделан вывод, что в данном случае идея с построением взаимосвязанной системы нейронных сетей позволит в целом повысить эффективность получаемого решения, а также даст возможность работать с каждой сетью в отдельности, не влияя на уже успешно настроенные конфигурации.

Важно отметить, что определение значений параметров нейронных совершается методом проб и ошибок, исходя из практических данных. Слишком сложная структура нейронной сети может привести к проблеме переобучения, когда контрольная проверка на тестовой выборке показывает значительно низкие результаты по сравнению с предшествующими. При построении чрез-

мерно простой модели встречается ошибка недообучения, когда сеть не способна сопоставить коэффициенты нейронов для получения известного решения. Следовательно, НС считается успешно обученной, если ошибка, достигнутая при обработке данных из текстовой выборки, приблизительно совпадает с ошибкой, полученной при работе с обучающей выборкой.

Очевидно, что размер выходного слоя равен числу элементов словаря, а количество узлов выходного слоя обусловлено возможными категориальными классами. Остальные параметры были выбраны экспериментальным подбором. Таким образом, после череды эмпирических испытаний удалось построить такую совокупность сверточных нейронных сетей, при которых точность классификации достигает 90%.

Список литературы

1. Ботов Д.С., Кленин Ю.Д., Николаев И.Е. Извлечение информации с использованием нейросетевых моделей языка на примере анализа вакансий в системах онлайн-рекрутмента [Электронный ресурс] // Вестник Югорского государственного университета. 2018. № 3(50). С. 37-48. ISSN: 1816-9228.
2. Землевский А.Д. Исследование архитектуры сверточных нейронных сетей для задачи распознавания образов [Электронный ресурс] // Вестник науки и образования. 2017. Т. 2. № 6(30). С. 36-43. ISSN: 2312-8089.
3. Израилев В.Я. Анализ программ для работы с регулярными выражениями методом анализа иерархий [Электронный ресурс] // Символ науки: международный научный журнал. 2018. № 6. С. 7-11. ISSN: 2410-700X.
4. Лыченко Н.М., Сорокова А.В. Сравнение эффективности методов векторного представления слов для определения тональности текстов [Электронный ресурс] // Математические структуры и моделирование. 2019. № 4(52). С. 97-110. ISSN: 2222-8772.
5. Попова Е.С., Спицын В.Г., Иванова Ю.А. Использование искусственных нейронных сетей для решения задачи классификации текста [Электронный ресурс] // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». 2019. № 29. С. 270-273 eISSN: 2618-8317.
6. Сорокоумова Д.А., Корелин О.Н., Сорокоумов А.В. Построение и обучение нейронной сети для решения задачи распознавания речи [Электронный ресурс] // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева, 2015. № 3(110). С. 77-84. ISSN: 1816-210X.

Сведения об авторах

Торшина Ольга Анатольевна – канд. физ.-мат. наук, доц. каф. ПМиИ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: o.torshina@magtu.ru

Москвина Елена Алексеевна – канд. пед. наук, доц. каф. ПМиИ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: e.moskvina-magtu@mail.ru

Блинова Виктория Вячеславовна – студентка гр. ТПМп-17-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

УДК 66.094.27:546.57

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Тарасюк Е.В., Коляда Л.Г., Кутасевич П.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Продление срока хранения пищевого продукта является важным вопросом для многих производителей продуктов питания, так как испорченные продукты приносят огромные убытки для ритейлеров. В работе синтезированы золи, содержащие наночастицы серебра, на основе дистиллированной и бидистиллированной воды. Спектрофотометрическим методом были измерены оптические свойства растворов. Исследована устойчивость золь наночастиц в зависимости от способа подготовки воды для их синтеза. Установлено, что синтезированные золи на основе бидистиллированной воды, имеют меньшие размеры наночастиц серебра.

Ключевые слова: наночастицы, наночастицы серебра, оптическая плотность, дистиллированная вода, бидистиллированная вода.

Пищевые продукты растительного и животного происхождения не могут долго храниться в свежем виде. Причина их порчи заключается в жизнедеятельности микроорганизмов и ферментов. Поэтому продлением срока хранения пищевого продукта занимаются не только производители продуктов питания, но и производители упаковочных материалов. Для продления срока годности продукта можно изменить составляющие компоненты продукта и присущие ему свойства, внести изменения в производственный процесс, выбрать другой тип упаковки или изменить факторы окружающей среды.

В настоящее время упаковка является неотъемлемой частью повседневной жизни. Она защищает от внутренних и внешних воздействий при транспортировке, перевозке и хранении. Упаковку активно модифицируют различными дополнительными материалами и средствами с помощью нанотехнологий [1-3]. Внедрение в упаковочный материал наночастиц (серебра, оксида цинка, диоксида кремния), которые обладают полезными и ценными свойствами, в разы увеличивают барьерные свойства материала, что в свою очередь приводит к увеличению срока годности продуктов питания.

Одно из главных свойств наночастиц серебра – дезинфицирующее свойство, что делает наносеребро незаменимым для обеззараживания воды, сохранения пищевых продуктов, модификации традиционных материалов с целью придания им эффективных биоцидных свойств [4].

Проведя аналитический обзор по существующим способам получения наночастиц серебра,

можно выделить несколько основных: химическое восстановление из растворов, механохимическая обработка и термическое испарение в вакууме [5]. Самым распространённым методом получения наночастиц серебра является их химическое восстановление из растворов. Устойчивые во времени наночастицы серебра образуются при восстановлении глюкозой, аскорбиновой кислотой, цитратом натрия, гидразином, боргидридом натрия. Авторы исследований проводят реакцию восстановления в различных условиях, при этом важное значение уделяют чистоте исходных веществ, концентрации водных растворов на их основе, методике получения наночастиц. При этом существенную роль играет стабилизация наночастиц серебра, так как последние подвергаются быстрому окислению и легко агрегируют в растворах [1-6].

Цель работы – исследование устойчивости золь, содержащих наночастицы серебра, в зависимости от способа подготовки воды для их синтеза.

Золи на основе серебра готовились на дистиллированной и бидистиллированной воде. Отдельно был приготовлен раствор нитрата серебра (AgNO_3) с концентрацией 0,0001 М и раствор глюкозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) с концентрацией 0,05 М. Затем оба раствора смешивались в равном объемном соотношении 1:1. Поскольку синтез и размеры наночастиц зависят от pH среды [4, 6], то необходимый уровень pH (8-9) получали добавлением раствора гидроксида аммония ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Термообработку полученных золь проводили при температуре 90°C в течение 20–25 минут и стабилизировали их с использованием токов высокой частоты (СВЧ) в течение 3 минут [7].

Спектры поглощения получены на спектрофотометре СФ-26. Наночастицы серебра имеют характерный пик поверхностно-плазмонного резонанса (ППР) в видимой области спектра (400-520 нм). Максимум на спектральной кривой вблизи 400 нм соответствует ППР наночастиц серебра. При этом полученные золи имеют выраженную желтую окраску.

Несмотря на одинаковую концентрацию растворы имеют разную интенсивность окрашивания: раствор на основе бидистиллированной воды имеет ярко-желтое окрашивание, раствор на основе дистиллированной воды имеет серо-желтый цвет, что может свидетельствовать об образовании частиц серебра крупных размеров.

На рис. 1 представлены результаты спектрофотометрического анализа синтезированных растворов наночастиц в день их приготовления. На спектре поглощения для золя, полученного на основе бидистиллированной воды, наблюдается выраженный максимум при длине волны 400 нм, что вероятнее всего соответствует образованию наночастиц серебра с размерами 10 нм. На спектре поглощения золя, приготовленного на основе дистиллированной воды, также фиксируется выраженный максимум, но при длине волны 420 нм, что соответствует образованию частиц серебра с размерами более 40 нм [6].

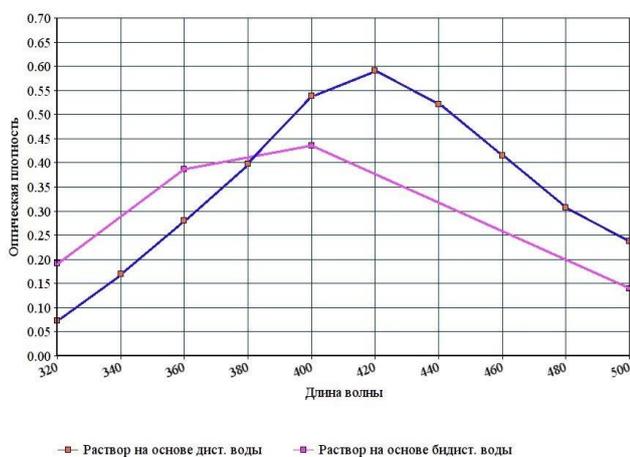


Рис. 1. Кривые поглощения спектрофотометрического анализа в день приготовления растворов

Спектрофотометрический анализ золой после 14 суток экспозиции (рис. 2) показал следующее: оптическая плотность раствора на основе дистиллированной воды увеличилась незначительно, в то время как оптическая плотность раствора на основе бидистиллированной воды увеличилась примерно в 2 раза, и окраска золя стала интенсивнее. Максимумы на спектрах поглощения обоих золой сместились в сторону увеличения длины волны, что свидетельствует о некотором укрупнении частиц.

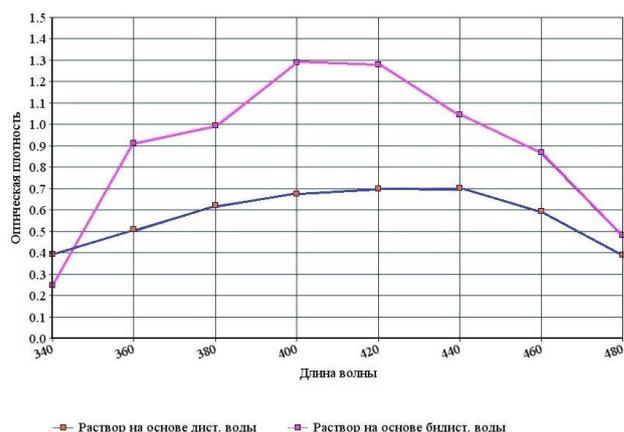


Рис. 2. Кривые поглощения спектрофотометрического анализа после 14 суток экспозиции

Из полученных данных следует, что золи на основе дистиллированной воды менее устойчивы во времени. Для получения золой с требуемой устойчивостью рекомендуется применять бидистиллированную воду.

Золи, полученные на основе бидистиллированной воды имеют меньшие размеры наночастиц серебра (10 нм) и поэтому их можно рекомендовать для нанесения антисептического покрытия на упаковочные материалы с целью продления срока хранения пищевых продуктов.

Список литературы

1. Вегера А.В., Зимон А.Д. Синтез и физико-химические свойства наночастиц серебра, стабилизированных желатином // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. №5. С. 60-64.
2. Шарова С.Р., Солозобов И.А., Никифорова Т.Е. Исследование способности водного экстракта и гидролизата корней одуванчика лекарственного восстанавливать нитрат серебра с образованием наночастиц серебра // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 9 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/09/70944> (дата обращения: 22.05.2021).
3. Нанотехнологии в упаковке / К.В. Еремеева [и др.] // Качество продукции, технологий и образования. 2018. С. 203-206.
4. Наночастицы металлов в полимерах / А.Д. Помогайло [и др.]. М.: Химия, 2000. С. 672.
5. Поджарая К.С. Анализ методов получения наноразмерных частиц серебра // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. С.85-87.
6. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы / Ю.А. Крутяков [и др.] // Успехи химии. 2008. Т. 77. С.242-269.
7. Синтез и исследования наночастиц серебра / Л.Г. Коляда, О.В. Ершова, Ю.Ю. Ефимова, Е.В. Тарасюк // Альманах современной науки и образования. 2013. №10(77). С. 79- 82.

Сведения об авторе

Тарасюк Елена Владимировна – канд. хим. наук, доц. каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: gepod@inbox.ru

Коляда Людмила Григорьевна – канд. техн. наук, доц. каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kl174@mail.ru

Кутасевич Полина Сергеевна – студентка гр. ТТПб-19-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск
