

MIESIĘCZNIK
POŁOCKI.

Т о м I.
Р о к 1818.

«Вестник Полоцкого государственного университета» продолжает традиции первого в Беларуси литературно-научного журнала «Месячник Полоцкий».



ВЕСТНИК ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия В. Промышленность. Прикладные науки

В серии В научно-теоретического журнала публикуются статьи, прошедшие рецензирование, содержащие новые научные результаты в области машиноведения и машиностроения, транспорта и химических технологий.

ВЕСНІК ПОЛАЦКАГА ДЗЯРЖАУНАГА УНІВЕРСІТЭТА
Серыя В. Прамысловасць. Прыкладныя навукі

У серыі В навукова-тэарэтычнага часопіса друкуюцца артыкулы, якія прайшлі рэцэнзаваанне, змяшчаюць новыя навуковыя вынікі ў галіне машыназнаўства і машынабудавання, транспарту і хімічных тэхналогій.

HERALD OF POLOTSK STATE UNIVERSITY
Series B. Industry. Applied sciences

Series B includes reviewed articles which contain novelty in research and its results in machine science and mechanical engineering, transport and chemical engineering.

Журнал входит в Российский индекс научного цитирования.

Адрес редакции:
Полоцкий государственный университет, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, 211440, Беларусь
тел. + 375 (214) 59 95 44, e-mail: vestnik@psu.by

Отв. за выпуск В.П. Иванов.

Редактор Т.А. Дарьянова.

Подписано к печати 25.08.2021. Бумага офсетная 80 г/м². Формат 60×84¹/₈. Цифровая печать.

Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 14,73. Тираж 100 экз. Заказ 544.

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.9.04:530.1(075.8)

АВТОРСКАЯ НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА «ОСНОВЫ СИСТЕМОЛОГИИ И СИНТЕЗА СПОСОБОВ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ»

канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)

Предложена авторская научная дисциплина для конструкторско-технологических специальностей на основе фундаментальных положений монографии [6], посвященной системологии способов формообразующей обработки в машиностроении. Показано, что любой способ формообразующей обработки независимо от метода воздействия на материал заготовки, вида используемой при этом энергии и количества энергетических источников характеризуется со стороны целостности как относительно обособленное, виртуальное техническое решение из совокупности всех известных способов, объединенных общей, пионерной целью: со стороны функции – как процесс формообразования реальных поверхностей заданной формы и размеров с определенными физико-механическими свойствами; со стороны структуры – как множество целесообразно связанных элементов (приемов), их последовательности и правил выполнения. Проанализирована на языке теории множеств геометрическая интерпретация воспроизведения реальных поверхностей при формообразующей обработке. Сформулированы принципы представления способов формообразующей обработки в виде логико-математических моделей с выделением критериев их сложности. На основе следствия, вытекающего из определения понятия способа формообразующей обработки, предложена методика создания новых способов. Рассматривается реализация ряда относительно новых способов обработки резанием, признанных изобретениями, посредством функционального проектирования по функции, задаваемой соответствующим способом обработки, в кинематической структуре металлорежущих станков с механическими и с электронными связями в формообразующих группах.

Ключевые слова: авторская дисциплина, способы формообразующей обработки, системология способов, структура и функция способа, синтез способов, реализация способов в кинематической структуре металлорежущих станков.

Введение. В основу любой технологической машины, используемой для воспроизведения реальных поверхностей на деталях машин, положен один или несколько вполне определенных способов формообразующей обработки – виртуальных технических решений (технических идей), защищаемых патентами на изобретения.

Разнообразие способов формообразующей обработки является следствием множества конструкторско-технологических задач, решаемых в машиностроении, размеров и форм обрабатываемых деталей. Исторически ранее других появились способы формообразующей обработки, основанные на использовании механической энергии. Это объясняется многообразием возможных вариантов движений заготовки и инструмента, составляющих движения формообразования. Во второй половине XX столетия в технологии материалобработки классические способы, основанные на механическом воздействии на твердое тело, дополняются способами, основанными на других физических и химических явлениях. К настоящему времени в теоретической технологии сформировался значительный массив – поле ветвящихся виртуальных путей эволюции способов формообразующей обработки, отдельные группы которых можно использовать для решения одной и той же технологической задачи.

В технической литературе понятие формообразующей обработки ассоциируется с разрушением, изменением или возникновением связей в твердом теле (заготовке) в процессе обработки. По этому признаку различают (рисунок):

- способы обработки, основанные на удалении части материала с заготовки (механическое резание, физическое, химическое, комбинированное удаление материала), $V_{изд} < V_{заг}$;
- способы обработки, основанные на формоизменении материала заготовки (различные виды литья, порошковая металлургия, пластическая деформация, и т.д.), $V_{изд} = V_{заг}$;
- способы обработки, основанные на прибавлении материала к заготовке (наплавка, сварная сборка, склеивание, послойный синтез и т.д.), $V_{изд} > V_{заг}$.

В приведенных определениях $V_{изд}$ и $V_{заг}$ – соответственно объем изделия (детали) и заготовки.

По существу в данном определении все многообразие (открытое множество) виртуальных технических решений в области формообразующей обработки на высшем иерархическом уровне состоит из трех развивающихся подмножеств способов, отличающихся принципом воспроизведения реальных поверхностей.

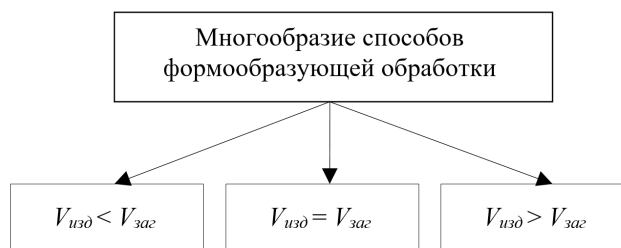


Рисунок. – Граф множества способов формообразующей обработки

Можно считать, что выбор способа решения конкретной технологической задачи из известных способов формообразующей обработки выявил тенденцию к общему анализу внутренних связей и закономерностей различных принципов, видов и способов формообразующей обработки и на этой основе к их систематизации. Однако высшая школа до настоящего времени практически не имеет обобщающих дисциплин, которые дают относительно полное представление о типологии способов формообразующей обработки в конкретной отрасли техники, соответствующей инженерной специальности.

Цель работы – разработка авторской научной дисциплины «Основы системологии и синтеза способов формообразующей обработки резанием» для конструкторско-технологических специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Основная часть. Выделим из многообразия способов формообразующей обработки, основанных на удалении части материала, способы обработки механическим резанием. Данный вид способов образует наиболее значительное, развивающееся, открытое множество способов как по количеству, так и по разнообразию вариантов среди общего многообразия способов формообразующей обработки.

В ряде научных школ [1–5 и др.] предлагались различные методы систематизации многообразия способов обработки резанием, базирующиеся на анализе частных факторов (кинематических, технологических, энергетических, конструктивных), присущих отдельным видам и способам обработки. При этом иногда способ формообразующей обработки рассматривается как аксиоматическое понятие или ассоциируется с другими понятиями: схемой резания или в общем случае схемой формообразования, технологией проведения операции и, наконец, методом обработки. Эти методы включены в учебную литературу соответствующих инженерных дисциплин. Однако, как представляется, обобщающая теоретическая концепция систематизации способов формообразующей обработки резанием независимо от формы инструмента и его характеристического образа, вида дополнительной используемой энергии и характера воздействия на заготовку возможна только на основе фундаментального системного анализа с позиций общей теории систем всего комплекса понятий в данном научном направлении. Частный пересмотр отдельных положений, замена одних неприемлемых понятий другими, механическое введение новых понятий без переосмысливания всей системы существующих воззрений не может дать объективно правильных результатов.

Руководствуясь именно этими соображениями, в монографии [6] приведена авторская концепция методологии решения указанной задачи. В этой работе, отнесенной экспертным советом Российской академии естествознания к категории фундаментальных научных изданий, предложено однозначное определение способа формообразующей обработки, адекватное понятию способа, принятого в практике научно-технической экспертизы изобретений. Показано, что способ формообразующей обработки – это виртуальная, целенаправленная техническая система, или *S*-система, качественная определенность которой обусловлена ее структурой и функцией. Предложен язык системно-структурного описания способов формообразующей обработки. Сформулированы принципы представления *S*-систем в виде логико-математических моделей (системное описание) с выделением критериев сложности и с этих позиций проведен системный анализ некоторого множества способов формообразующей обработки. Представлена методика классификации *S*-систем и на ее основе в качестве примера рассмотрена синергетическая модель эволюции способов обработки резанием цилиндрических зубчатых колес. Показана на конкретных примерах методика создания (синтеза) новых способов формообразующей обработки, базирующаяся на следствии, вытекающем из понятия способа обработки, и на ряде общих принципов, сложившихся в практике научно-технической экспертизе изобретений.

Одним из свойств любого способа формообразующей обработки является промышленное применение, под которым в научно-технической экспертизе изобретений понимается реализация способов обработки в соответствующих технологических машинах. Это позволяет рассматривать любой способ формообразующей обработки резанием прообразом частной кинематической структуры соответствующего металлорежущего станка. При этом логическая связь между способом формообразующей обработки и кинематической структурой соответствующего металлорежущего станка устанавливается посредством функционального проектирования, под которым понимается [7] синтез частной структурной схемы станка по закону его функционирования, задаваемому способом формообразующей обработки.

На основе материалов названной монографии в ПГУ разработана и длительное время читается студентам конструкторско-технологических специальностей 1-36 01 01 и 1-36 01 03 авторская научная (факультативная) дисциплина «Основы системологии и синтеза способов формообразующей обработки резанием». Согласно рабочему учебному плану на изучении дисциплины отводится 54 ч, в т.ч. лекции – 34 ч, самостоятельная работа студента – 20 ч. Форма текущей аттестации – зачет.

Тематический план дисциплины

Наименование темы	Лекции, ч
Тема 1. Введение в системологию	4
Тема 2. Виды способов формообразующей обработки резанием	6
Тема 3. Методика воспроизведения реальных поверхностей	4
Тема 4. Методика описания способов формообразующей обработки резанием	6
Тема 5. Методика создания новых способов формообразующей обработки резанием	6
Тема 6. Классификация способов формообразующей обработки резанием	4
Тема 7. Реализация способов формообразующей обработки резанием в кинематической структуре металлорежущих станков	4
Всего	34

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение в системологию

Общая теория систем и синергетика. Понятие системы. Общие сведения о системах. Наука о системах как двумерная наука. Свойства отношений в системе и экспериментальные свойства системы. Виды систем. Теория технических систем. Системология и ее место в технических дисциплинах.

Понятие способа формообразующей обработки. Способ формообразующей обработки как целенаправленная виртуальная техническая система, или *S*-система. Цель как критерий целесообразности развития многообразия *S*-систем. Формообразование реальных поверхностей посредством удаления части материала заготовки, прибавления части материала к заготовке, перераспределения материала заготовки.

Способы, или *S*-системы, формообразующей обработки резанием. Синергетическая модель целенаправленного развития множества способов обработки резанием.

Тема 2. Виды способов формообразующей обработки резанием

Пионерные и производные *S*-системы формообразующей обработки резанием. Многообразие *S*-систем как большая развивающаяся система, или надсистема. Синергетическая модель целенаправленного развития множества способов обработки резанием.

S-система формообразующей обработки резанием как объединение кинематической, энергетической, базирующей и стабилизирующей силовое воздействие подсистем. Структура и функция *S*-систем обработки резанием, их морфологическое (структурное) и функциональное описание. Организация, качественная определенность и различимость *S*-систем.

Тема 3. Воспроизведение реальных поверхностей

Форма любой детали как замкнутое пространство, ограниченное реальными геометрическими поверхностями, образованными вполне определенными способами формообразующей обработки.

Понятие о характеристическом образе инструмента (объекта, воздействующего на твердое тело заготовки). Мощность геометрического образа. Отображение характеристического образа инструмента в множество точек отрезка виртуальной плоской кривой. Классы воспроизведения геометрических линий (одномерных множеств).

Реальная геометрическая поверхность в произвольный момент времени как произведение двух одномерных множеств – образующей и направляющей. Геометрические классы воспроизведения реальных поверхностей. Осуществимость геометрических классов воспроизведения реальных поверхностей.

Комбинированные подклассы образования реальных поверхностей. Законченное множество геометрических классов и подклассов образования реальных поверхностей.

Влияние характеристического образа инструмента на формирование реальной поверхности.

Тема 4. Методика описания способов формообразующей обработки резанием

Методика системного описания кинематической, базирующей, энергетической и стабилизирующей силовое воздействие подсистем *S*-системы. Структура и функция подсистем. Характер связей между различными подсистемами и характеристическим образом инструмента, совмещение функций.

Понятие критерия сложности *S*-системы и его составляющие. Примеры системного описания различных *S*-систем и определение критериев их сложности.

Тема 5. Методика создания новых способов формообразующей обработки резанием

Основы синтеза способов формообразующей обработки. Следствие из понятия способа формообразующей обработки. Принцип изменения последовательности приемов. Принцип изменения правил выполнения приемов. Принцип согласования ритмов физического воздействия. Принцип совмещения обработки нескольких заготовок одним инструментом. Принцип совмещения обработки с транспортированием. Принцип использования дополнительных источников энергии. Использование названных принципов при создании новых способов формообразующей обработки на примерах из патентных источников.

Различимость способов формообразующей обработки на примерах из патентных источников.

Тема 6. Классификация способов формообразующей обработки резанием

Общая методика иерархической, многоуровневой классификации способов формообразующей обработки. Иерархические уровни классификации: вид первичного воздействия на заготовку, форма воспроизводимой поверхности, вид инструмента.

Структурный анализ, классификация и методика построения синергетической модели эволюции пионерных способов обработки поверхностей одного вида.

Критерии относительной производительности по времени формообразования и по времени циклового функционирования *S*-систем.

Синергетическая модель целенаправленного развития открытого множества *S*-систем на примере способов нарезания цилиндрических зубчатых колес по патентным источникам.

Тема 7. Реализация способов формообразующей обработки резанием в кинематической структуре металлорежущих станков

Особенности современной парадигмы познания металлорежущих станков, основанной на двух законах теоретической механики: принципе возможных перемещений, или принципе Даламбера, и принципе разветвления энергии движения в кинематических цепях.

Способ формообразующей обработки (*S*-система) как качественная первообразная технологической операции и частной кинематической или кинематико-компоновочной структуры технологической машины, в т.ч. металлорежущего станка.

Особенности функционального проектирования частной кинематической структуры металлорежущего станка по закону функционирования, задаваемому способом формообразующей обработки. Объединение частных структурных схем в обобщенную кинематическую или кинематико-компоновочную структуру универсального станка.

Реализация ряда перспективных *S*-систем, полученных на основе общих принципов синтеза способов формообразующей обработки, рассматриваемых в данной дисциплине, в кинематической структуре металлорежущих станков.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**Основная литература**

1. Голембиевский, А.И. Основы системологии и синтеза способов формообразующей обработки резанием : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / А.И. Голембиевский. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – 204 с.

Дополнительная литература

2. Голембиевский, А.И. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2017. – 236 с.

Заключение. В результате освоения дисциплины «Основы системологии и синтеза способов формообразующей обработки резанием» студент должен

знать:

– основополагающие понятия общей теории систем и ее частного направления – теории технических систем;

– общие принципы создания новых способов формообразующей обработки (виртуальных технических решений) на основе следствия из понятия способа формообразующей обработки;

уметь:

– пользуясь принципами теории технических систем, анализировать различные виды и способы формообразующей обработки на структурном, функциональном и сравнительном уровнях;

владеть:

– методикой сравнительного анализа и синтеза способов формообразующей обработки резанием;

– методикой функционального проектирования кинематической структуры металлорежущих станков на основе функции соответствующих способов формообразующей обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский, Г.И. Кинематика резания / Г.И. Грановский. – М. : Машгиз. 1948. – 200 с.
2. Коновалов, Е.Г. Основы новых способов металлообработки / Е.Г. Коновалов. – Минск : Наука и техника, 1961. – 296 с.
3. Панченко, К.П. Определение и классификация схем резания / К.П. Панченко // Изв. вузов. Машиностроение. – 1964. – № 12. – С. 132–138.
4. Этин, А.О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием / А.О. Этин. – М. : Машиностроение, 1964. – 323 с.
5. Лившиц, А.Л. Методика поиска новых процессов формообразования / А.Л. Лившиц // Вестн. машиностроения. – 1967. – № 9. – С. 60–64.
6. Голембиевский, А.И. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2017. – 236 с.
7. Голембиевский, А. Эволюция парадигмы познания металлорежущих станков / А. Голембиевский. – Saarbrücken (Germany) : LAP Lambert Academic Publishing, 2019. – 149 с.

Поступила 07.06.2021

**AUTHOR'S SCIENTIFIC DISCIPLINE
“BASES OF SYSTEMOLOGY AND SYNTHESIS OF METHODS
OF FORM-FORMING PROCESSING BY CUTTING”**

A. GOLEMBIEVSKY

The author's scientific discipline for design and technological specialties is proposed on the basis of the fundamental provisions of the monograph [6], devoted to the systemology of methods of form-forming processing in mechanical engineering. It is shown that any method of shaping processing, regardless of the method of influencing the workpiece material, the type of energy used in this case and the number of energy sources, is characterized from the side of integrity as a relatively isolated, virtual technical solution from the totality of all known methods, combined by a common, pioneering purpose: from the side of the function – as a process of shaping real surfaces of a given shape and size with certain physical and mechanical properties: from the side of the structure – as a set of expediently connected elements (techniques), their sequence and rules of execution. The geometric interpretation of the reproduction of real surfaces during shaping processing is considered in the language of set theory. The principles of representing the methods of shaping processing in the form of logical and mathematical models with the selection of criteria for their complexity are formulated. On the basis of the corollary arising from the definition of the concept of the method of shaping processing, a technique for creating new methods is proposed. The article considers the implementation of a number of relatively new methods of cutting, recognized by inventions, through functional design according to the function set by the corresponding processing method, in the kinematic structure of metal-cutting machines with mechanical and electronic connections in the forming groups.

Keywords: *author's discipline, methods of shaping processing, systemology of methods, structure and function of the method, synthesis of methods, implementation of methods in the kinematic structure of metal-cutting machines.*

УДК 658.512

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКЕ
ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

д-р техн. наук, проф. Н.Н. ПОПОК
(Полоцкий государственный университет),
канд. техн. наук, доц. Н.В. БЕЛЯКОВ, В.В. ЯНОВИЧ
(Витебский государственный технологический университет)

На основе анализа условий врезания фрез и их геометрических параметров предложен подход к моделированию рациональных положений систем координат заготовки и инструмента в начальной и конечной точках траекторий резания, а также величин врезания инструментов при торцовом фрезеровании современными твердосплавными пластинами. Представленная система поддержки принятия решений позволяет производить автоматизированный расчет указанных параметров для размерной настройки фрезерных станков. Использование системы на машиностроительных предприятиях дает возможность: снизить затраты на обработку плоских поверхностей торцовыми фрезами за счет сокращения основного (машинного) времени и минимизации величин рабочих ходов фрез; повысить срок службы и период стойкости фрезы путем назначения рекомендованных производителями инструмента рациональных режимов резания на участке динамических нагрузок при врезании фрез. Результаты работы также могут быть полезны в организациях, специализирующихся на разработке САМ-систем, и в учебном процессе.

Ключевые слова: торцевая фреза, основное время, врезание, рабочий ход, САМ-система, ЧПУ, управляющая программа, подготовка производства, машиностроение.

Введение. Развитие современного машиностроительного производства осуществляется в условиях эпохи четвертой индустриальной революции, характеризующейся глобальной автоматизацией процессов проектирования и изготовления изделий, ростом номенклатуры изделий и требований к их качеству, гибкостью производства, возможностью быстрой адаптации продукции под потребителя с учетом его интересов и требований.

Для производства деталей машин в настоящее время широкое распространение получили металлорежущие станки с числовым программным управлением (ЧПУ), выполняющие токарные, шлифовальные, фрезерные и др. операции. Все большее распространение получают металлорежущие станки с ЧПУ нового поколения – обрабатывающие центры токарной и фрезерной групп, которые позволяют максимально концентрировать станочные работы.

При программировании станков с ЧПУ фрезерной группы важной задачей является определение положения систем координат заготовки и инструмента в начальной и конечной точках траекторий резания, а также величин врезания фрезы. От взаимного расположения указанных систем координат зависит основное (машинное) время и, как следствие, затраты на обработку. Во время врезания в заготовку фреза испытывает динамические ударные нагрузки, что существенно влияет на качество обработанной поверхности и эксплуатационные свойства инструмента. Поэтому производители инструментов в каталогах фрез и онлайн-калькуляторах режимов резания [1–3] рекомендуют их различные значения для врезания и устойчивого процесса резания.

Анализ литературных источников и опыт работы технологических бюро машиностроительных предприятий показывает, что программирование станков с ЧПУ осуществляется вручную (программа набирается на компьютере в текстовом редакторе и переносится на станок), на стойке с ЧПУ (ввод с клавиатуры) и с помощью САМ-систем (Computer Aided Manufactur). В проектной практике наибольшее распространение получили следующие САМ-системы: Компас ЧПУ, T-Flex ЧПУ, Прамень ЧПУ, MasterCAM, SiemensNX, NXCAM, EdgeCAM, SolidCAM, Creo, CATIA, PowerMill, InventorHSMExpress, Esprite, Xpress, HSMWorks, Radan, VisiSeries, CamWorks и др.

Эти системы работают с трехмерными моделями деталей, разработанными в соответствующих графических редакторах. При разработке управляющих программ для торцового фрезерования плоских поверхностей после ввода исходных данных (конструктивные элементы, инструменты и др.) системы, как правило, либо предлагают пользователю в графическом или (и) диалоговом режиме определить начальное и конечное положение фрезы с возможностью проверки аварийных ситуаций, либо выставляют ось вращения фрезы в начало конструктивного элемента (рисунок 1) [4–8]. При использовании стандартных циклов (CYCLE71, CYCLE72 и т.д.) также не учитываются геометрические параметры пластин, пользователи сами задают начальные и конечные положения фрезы и величины врезания.

Таким образом, указанные системы и известные методики программирования не позволяют в автоматическом режиме определять рациональные положения систем координат заготовки и инструмента в начальной и конечной точках траекторий резания для обеспечения минимальных рабочих ходов с учетом форм современных твердосплавных пластин, а также величин врезания фрез. Не дают такой возможности и онлайн-

калькуляторы режимов резания. В справочной и учебной литературе [9–13] лишь приводятся рекомендации по определению основного времени для некоторых вариантов врезания фрез.

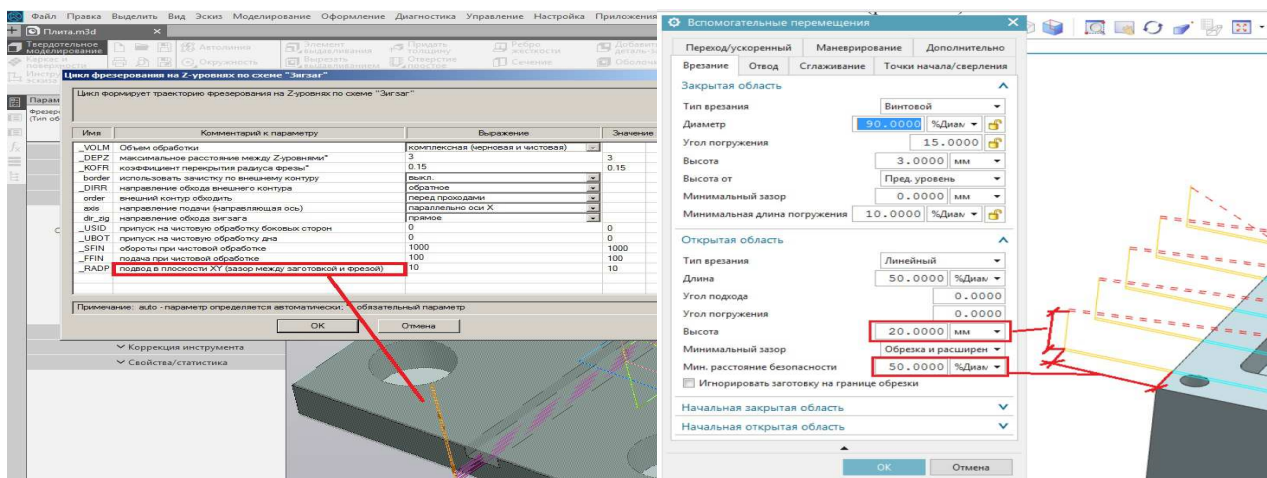


Рисунок 1. – Интерфейсы задания начальной и конечной координат фрезы в Компас ЧПУ и SiemensNX

Целью работы является разработка системы поддержки принятия решений для определения минимальных величин врезания и перебегов торцевых фрез, координат начального и конечного положения инструмента, а также основного времени для программирования обработки плоских поверхностей на станках с ЧПУ.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи: 1) разработаны общие модели для определения затрат основного (машинного) времени в зависимости от характера поверхности врезания заготовки, симметричности расположения фрезы относительно заготовки, траекторий ее движения и формы твердосплавной пластины; 2) составлены расчетные схемы и математические модели определения минимальных величин врезания и перебега торцевых фрез, координат начального и конечного положений инструмента; 3) предложен алгоритм функционирования и общая структура системы поддержки принятия решений для определения минимальных величин врезания и перебега торцевых фрез, координат начального и конечного положений инструмента, а также основного времени при обработке плоских поверхностей; 4) разработано программное обеспечение реализации моделей, проведена его комплексная отладка и предварительные испытания, а также программные документы.

Для исследования и решения поставленных в работе задач использовались методы теории автоматизации проектирования, аналитической геометрии, системно-структурного анализа и моделирования. Проводился анализ литературных источников, электронных изданий, опыта использования систем автоматизированного проектирования на предприятиях, а также анализ конструкторской и технологической документации в соответствующих бюро машиностроительных заводов.

Результаты исследований. При формировании общей модели для определения затрат основного (машинного) времени установлено, что принципиальное отличие имеют варианты врезания (выхода) торцевой фрезы либо по прямой (расположенной перпендикулярно направлению подачи или под произвольным углом), либо по окружности. Прочие варианты могут быть к ним приведены. Основными плоскими конструктивными элементами, обрабатываемыми торцевыми фрезами, являются плоскости и полуоткрытые и открытые прямые и наклонные уступы.

Построены общие расчетные схемы для определения длины рабочего хода инструмента $L_{рх}$, величины врезания $L_{вр}$, а также координат начального (X_n и Y_n) и конечного (X_k и Y_k) положения инструмента относительно системы координат заготовки (рисунок 2).

Показателями режима резания при торцевом фрезеровании являются: глубина резания t , скорость подачи S_m (мм/мин) и частота вращения шпинделя n (об/мин). Глубина резания для всех видов фрез, кроме торцевых и шпоночных, измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы. Важное значение при торцевом фрезеровании имеют такие технологические параметры, как ширина фрезерования B и глубина срезаемого слоя t_0 . В справочниках и онлайн-калькуляторах обычно рекомендуются подачи S_z – на один зуб фрезы (при предварительной обработке), или S_o – на один оборот фрезы, а также скорость резания v , м/мин. Все виды подач при фрезеровании связаны между собой следующими выражениями:

$$S_o = S_z \cdot Z; S_m = n \cdot S_o = n \cdot Z \cdot S_z,$$

где Z – число зубьев фрезы.

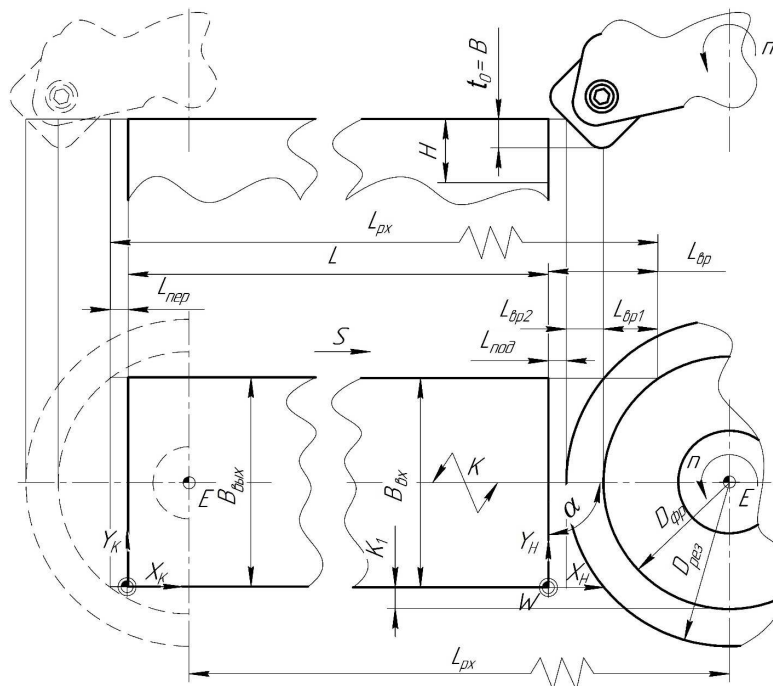


Рисунок 2. – Общая расчетная схема для определения величин рабочего хода и врезания, а также координат начального и конечного положений фрезы при врезании и выходе по прямой перпендикулярно к направлению подачи

Так, на основании принятых обозначений можно определить затраты основного времени T_o на операцию:

$$T_o = \sum_{i=1}^{N1} \sum_{j=1}^{N2} \left(\frac{L_{epij}}{S_{m1ij}} + \frac{L_{pxij} - L_{epij}}{S_{m2ij}} \right),$$

где L_{epij} – величина врезания на соответствующем проходе;

L_{pxij} – величина рабочего хода на соответствующем проходе;

S_{m1ij} – минутная подача при врезании на соответствующем проходе;

S_{m2ij} – минутная подача при устойчивом резании на соответствующем проходе;

$N1$ и $N2$ – числа проходов в соответствующих координатных направлениях.

«Потолки значений» числа проходов (означает, что полученная величина округляется до ближайшего большего значения)

$$N1 = \left\lceil \frac{H_1}{t} \right\rceil; \quad N2 = \left\lceil \frac{H}{t_o} \right\rceil,$$

где H_1 – припуск по оси Y ;

t – глубина резания (на рисунке 2: $t = H_1 = B_{vx}$);

H – припуск по оси Z ;

t_o – глубина срезаемого слоя.

При расчетах рекомендуется скорректировать значения глубин таким образом, чтобы они были равны на всех проходах. Иначе на последнем проходе она будет меньше, чем на предыдущих. В этом случае глубины на последнем проходе

$$t = H_1 - t \left\lceil \frac{H_1}{t} \right\rceil; \quad t = H - t_o \left\lceil \frac{H}{t_o} \right\rceil.$$

Длины рабочих ходов

$$L_{px} = L + L_1 + X_n - X_k + L_{пер},$$

где L – расстояние между началами систем координат заготовки (при прямолинейной траектории совпадает с габаритным размером);

L_1 – длина траектории, отличной от прямолинейной;

$L_{пер}$ – длина перебега (принимается 2...3 мм или отсутствует (в случае обработки полуоткрытых поверхностей)).

Для фрезерования торцовыми фрезами величина врезания складывается из трех компонентов (см. рисунок 2):

$$L_{\text{вп}} = L_{\text{вп1}} + L_{\text{вп2}} + L_{\text{под}},$$

где $L_{\text{вп1}}$ – обусловлена отношением диаметра фрезы $D_{\text{фп}}$, ширины заготовки на входе $B_{\text{вх}}$ (или радиуса $R_{\text{вх}}$), симметричностью их расположения K и углом α ;

$L_{\text{вп2}}$ – обусловлена формой твердосплавной пластины;

$L_{\text{под}}$ – величина минимального безопасного подвода инструмента (принимается 2...3 мм).

Установлено, что различные сочетания значений диаметра фрезы $D_{\text{фп}}$, ширины $B_{\text{вх}}$ (радиуса $R_{\text{вх}}$) заготовки, симметричности их расположения K и угла врезания α задают положения начал системы координат (X_n, Y_n) инструмента относительно системы координат заготовки 15 различными способами. Эти способы определяют варианты схем для их определения, а также модели для расчета величин врезания. Так, при несимметричном врезании по прямой, если $D_{\text{фп}} > B_{\text{вх}}$, $\frac{D_{\text{фп}}}{2} > \frac{B_{\text{вх}}}{2} + K$, $K \leq \frac{B_{\text{вх}}}{2}$, $K \neq 0$ и $\alpha = 90^\circ$ (рисунок 3),

$$L_{\text{вп1}} = \left(\frac{D_{\text{фп}}}{2} - AC \right).$$

Из ΔAOC

$$AO = \frac{D_{\text{фп}}}{2}, OC = \frac{B_{\text{вх}}}{2} + K, AC = \sqrt{\left(\frac{D_{\text{фп}}}{2} \right)^2 - \left(\frac{B_{\text{вх}}}{2} + K \right)^2}.$$

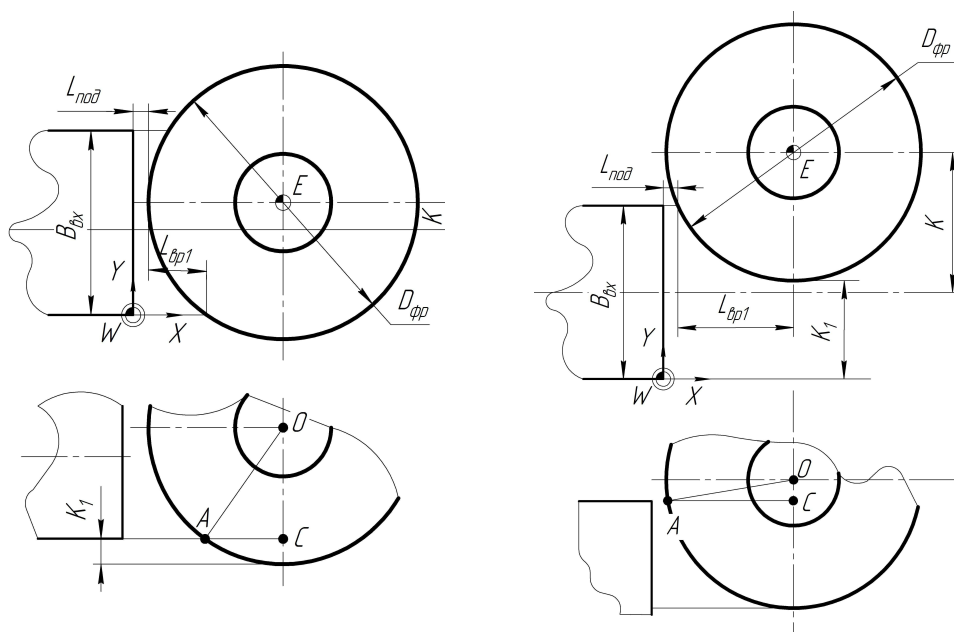


Рисунок 3. – Расчетные схемы для определения $L_{\text{вп1}}$ и координат (X_n, Y_n) для некоторых вариантов несимметричного врезания торцевой фрезы по прямой

Тогда

$$L_{\text{вп1}} = \left(\frac{D_{\text{фп}}}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_{\text{фп}}}{2} \right)^2 - \left(\frac{B_{\text{вх}}}{2} + K \right)^2} \right); X_n = L_{\text{под}} + \frac{D_{\text{рез}}}{2}; Y_n = \frac{B_{\text{вх}}}{2} + K; D_{\text{рез}} = D_{\text{фп}} + L_{\text{вп2}}.$$

При несимметричном врезании по прямой, если $\frac{B_{\text{вх}}}{2} < D_{\text{фп}} \leq B_{\text{вх}}$, $K > \frac{B_{\text{вх}}}{2}$ и $\alpha = 90^\circ$ (см. рисунок 3):

$$L_{\text{вп1}} = AC.$$

Из ΔAOC

$$AO = \frac{D_{\text{фп}}}{2}; OC = K - \frac{B_{\text{вх}}}{2}; AC = \sqrt{\left(\frac{D_{\text{фп}}}{2} \right)^2 - \left(K - \frac{B_{\text{вх}}}{2} \right)^2}.$$

Тогда

$$L_{\text{сп1}} = \sqrt{\left(\frac{D_{\text{фр}}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{\text{вх}}}{2}\right)^2}; \quad X_{\text{н}} = L_{\text{нод}} + \sqrt{\left(\frac{D_{\text{рез}}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{\text{вх}}}{2}\right)^2}; \quad Y_{\text{н}} = \frac{B_{\text{вх}}}{2} + K.$$

При несимметричном врезании по окружности если $D_{\text{фр}} > R_{\text{вх}}$, $\frac{D_{\text{фр}}}{2} - K < R_{\text{вх}}$, $K \neq 0$ и $\alpha = 90^\circ$ (рисунок 4):

$$L_{\text{сп1}} = O_1H - O_1Z.$$

Из $\triangle O_1OH$

$$O_1O = R_{\text{вх}} + \frac{D_{\text{фр}}}{2}; \quad OH = K; \quad O_1H = \sqrt{O_1O^2 - OH^2} = \sqrt{\left(R_{\text{вх}} + \frac{D_{\text{фр}}}{2}\right)^2 - K^2}.$$

Из $\triangle O_1CZ$

$$O_1C = R_{\text{вх}}; \quad CZ = \frac{D_{\text{фр}}}{2} - K; \quad O_1Z = \sqrt{O_1C^2 - CZ^2} = \sqrt{R_{\text{вх}}^2 - \left(\frac{D_{\text{фр}}}{2} - K\right)^2}.$$

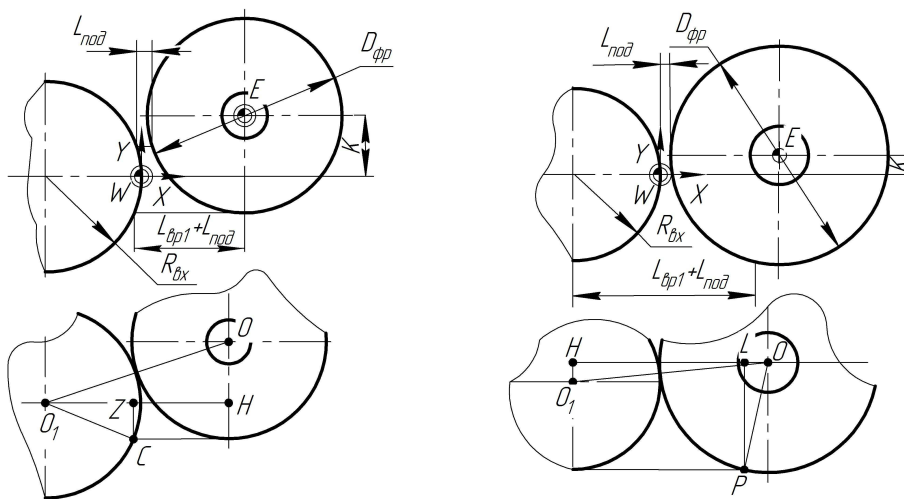


Рисунок 4. – Расчетные схемы для определения $L_{\text{сп1}}$ и координат $(X_{\text{н}}, Y_{\text{н}})$ для некоторых вариантов несимметричного врезания торцевой фрезы по окружности

Тогда

$$L_{\text{сп1}} = \sqrt{\left(R_{\text{вх}} + \frac{D_{\text{фр}}}{2}\right)^2 - K^2} - \sqrt{R_{\text{вх}}^2 - \left(\frac{D_{\text{фр}}}{2} - K\right)^2},$$

$$X_{\text{н}} = L_{\text{нод}} + \sqrt{\left(R_{\text{вх}} + \frac{D_{\text{фр}}}{2}\right)^2 - K^2} - R_{\text{вх}}; \quad Y_{\text{н}} = K.$$

При несимметричном врезании по окружности если $D_{\text{фр}} > R_{\text{вх}}$, $D_{\text{фр}} - K > R_{\text{вх}}$, $K \neq 0$ и $\alpha = 90^\circ$ (см. рисунок 4):

$$L_{\text{сп1}} = OH - OL.$$

Из $\triangle O_1OH$

$$O_1O = R_{\text{вх}} + \frac{D_{\text{фр}}}{2}; \quad O_1H = K; \quad OH = \sqrt{O_1O^2 - O_1H^2} = \sqrt{\left(R_{\text{вх}} + \frac{D_{\text{фр}}}{2}\right)^2 - K^2}.$$

Из $\triangle OPL$

$$OP = \frac{D_{\text{фр}}}{2}; \quad PL = R_{\text{вх}} + K; \quad OL = \sqrt{OP^2 - PL^2} = \sqrt{D_{\text{фр}}^2 - (R_{\text{вх}} + K)^2}.$$

Тогда

$$L_{ep1} = \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{\phi p}}{2}\right)^2 - K^2} - \sqrt{D_{\phi p}^2 - (R_{ex} + K)^2},$$

$$X_H = L_{nod} + \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{pe3}}{2}\right)^2 - K^2} - R_{ex};$$

$$Y_H = K.$$

Результаты моделирования приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. – Модели для определения начальных координат и величины врезания при врезании фрезы в заготовку по прямой

Условие применения	Величина врезания L_{ep1}	Координаты X_H и Y_H
$D_{\phi p} < B_{ex}; K = 0;$ $\alpha = 90^\circ$	$L_{ep1} = \frac{D_{\phi p}}{2}$	$X_H = L_{nod} + \frac{D_{pe3}}{2}; Y_H = \frac{B_{ex}}{2}$
$D_{\phi p} > B_{ex}; K = 0;$ $\alpha = 90^\circ$	$L_{ep1} = \left(\frac{D_{\phi p}}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_{\phi p}}{2}\right)^2 - \left(\frac{B_{ex}}{2}\right)^2}\right)$	$X_H = L_{nod} + \frac{D_{pe3}}{2}; Y_H = \frac{B_{ex}}{2}$
$D_{\phi p} < \frac{B_{ex}}{2};$ $\frac{D_{\phi p}}{2} \leq K \leq \frac{B_{ex}}{2};$ $\alpha = 90^\circ$	$L_{ep1} = \frac{D_{\phi p}}{2}$	$X_H = L_{nod} + \frac{D_{pe3}}{2}; Y_H = \frac{B_{ex}}{2} + K$
$\frac{B_{ex}}{2} < D_{\phi p} \leq B_{ex};$ $K \leq \frac{B_{ex}}{2}; K \neq 0;$ $\alpha = 90^\circ$	$L_{ep1} = \frac{D_{\phi p}}{2}$	$X_H = L_{nod} + \frac{D_{pe3}}{2}; Y_H = \frac{B_{ex}}{2} + K$
$D_{\phi p} > B_{ex};$ $\frac{D_{\phi p}}{2} > \frac{B_{ex}}{2} + K;$ $K \leq \frac{B_{ex}}{2}; K \neq 0; \alpha = 90^\circ$	$L_{ep1} = \left(\frac{D_{\phi p}}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_{\phi p}}{2}\right)^2 - \left(\frac{B_{ex}}{2} + K\right)^2}\right)$	$X_H = L_{nod} + \frac{D_{pe3}}{2}; Y_H = \frac{B_{ex}}{2} + K$
$D_{\phi p} < \frac{B_{ex}}{2}$ или $\frac{B_{ex}}{2} < D \leq B_{ex};$ $K > \frac{B_{ex}}{2}; \alpha = 90^\circ$	$L_{ep1} = \sqrt{\left(\frac{D_{\phi p}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{ex}}{2}\right)^2}$	$X_H = L_{nod} + \sqrt{\left(\frac{D_{pe3}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{ex}}{2}\right)^2};$ $Y_H = \frac{B_{ex}}{2} + K$
$\alpha \neq 90^\circ$	$L_{ep1} = \frac{D_{\phi p}}{2} (\operatorname{tg} \alpha + \sin \alpha)$	$X_H = L_{nod} + \frac{K_1 + \frac{D_{pe3}}{2}}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{D_{pe3} \cdot \sin \alpha}{2};$ $Y_H = K_1 + \frac{D_{pe3}}{2}$

Таблица 2. – Модели для определения начальных координат и величины врезания при врезании фрезы в заготовку по окружности

Условие применения	Величина врезания L_{ep1}	Координаты X_n и Y_n
$D_{фр} < 2R_{ex}; K = 0$	$L_{ep1} = (D_{фр} / 2) +$ $+ \left(R_{ex} - \sqrt{(R_{ex})^2 - \left(\frac{D_{фр}}{2}\right)^2} \right)$	$X_n = L_{нод} + \frac{D_{pez}}{2};$ $Y_n = K$
$D_{фр} > 2R_{ex}; K = 0$	$L_{ep1} = R_{ex} +$ $+ \left(\frac{D_{фр}}{2} - \sqrt{\left(\frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - (R_{ex})^2} \right)$	$X_n = L_{нод} + \frac{D_{pez}}{2};$ $Y_n = K$
$D_{фр} < R_{ex}; \frac{D_{фр}}{2} + K < R_{ex};$ $K \neq 0$	$L_{ep1} = \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - K^2} -$ $- \sqrt{(R_{ex})^2 - \left(\frac{D_{фр}}{2} + K\right)^2}$	$X_n = L_{нод} + \left(\sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{pez}}{2}\right)^2 - K^2} - R_{ex} \right);$ $Y_n = K$
$D_{фр} > R_{ex}; \frac{D_{фр}}{2} - K < R_{ex};$ $K \neq 0$	$L_{ep1} = \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - K^2} -$ $- \sqrt{R_{ex}^2 - \left(\frac{D_{фр}}{2} - K\right)^2}$	$X_n = L_{нод} + \left(\sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{pez}}{2}\right)^2 - K^2} - R_{ex} \right);$ $Y_n = K$
$D_{фр} > R_{ex};$ $\frac{D_{фр}}{2} - K > R_{ex}; K \neq 0$	$L_{ep1} = \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - K^2} -$ $- \sqrt{R_{ex}^2 - (R_{ex} + K)^2}$	$X_n = L_{нод} + \left(\sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{pez}}{2}\right)^2 - K^2} - R_{ex} \right);$ $Y_n = K$
$D_{фр} < 2R_{ex};$ $K > R_{ex}$	$L_{ep1} = \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - K^2} -$ $- \sqrt{R_{ex}^2 - \left(K - \frac{D_{фр}}{2}\right)^2}$	$X_n = - \left R_{ex} - \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{pez}}{2}\right)^2 - K^2} + L_{нод} \right ;$ $Y_n = K$
$D_{фр} > 2R_{ex};$ $K > R_{ex}$	$L_{ep1} = \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - K^2} -$ $- \sqrt{R_{ex}^2 - \left(K - \frac{D_{фр}}{2}\right)^2}$	$X_n = \sqrt{\left(R_{ex} + \frac{D_{pez}}{2}\right)^2 - K^2} - R_{ex} + L_{нод};$ $Y_n = K$

Для определения координат конечных положений фрез также составлены расчетные схемы и математические модели. Таким образом, определены возможные варианты сочетаний входов и выходов фрезы.

Анализ каталогов фирм-производителей торцовых фрез и твердосплавных пластин позволил свести все многообразие пластин к четырем вариантам для определения составляющей величины врезания L_{ep2} (рисунок 5). Для этих вариантов разработаны расчетные схемы и математические модели.

Так, для первого варианта пластины (рисунок 5) из $\triangle CPN$

$$\angle C = 180^\circ - 90^\circ - \chi = 90^\circ - \chi.$$

Из $\triangle ACB$

$$AC = \frac{AB}{\sin C}; AB = R; AC = \frac{R}{\sin C}.$$

Из $\triangle AMK$

$$MC = AC + AM; AM = t_o - R; MC = \frac{R}{\sin C} + (t_o - R); MK = MC \cdot \operatorname{tg} C;$$

$$L_{ep2} = MK = \left(\frac{R}{\sin C} + (t_o - R) \right) \cdot \operatorname{tg} C = \left(\frac{R}{\cos \chi} + t_o - R \right) \cdot \operatorname{ctg} \chi.$$

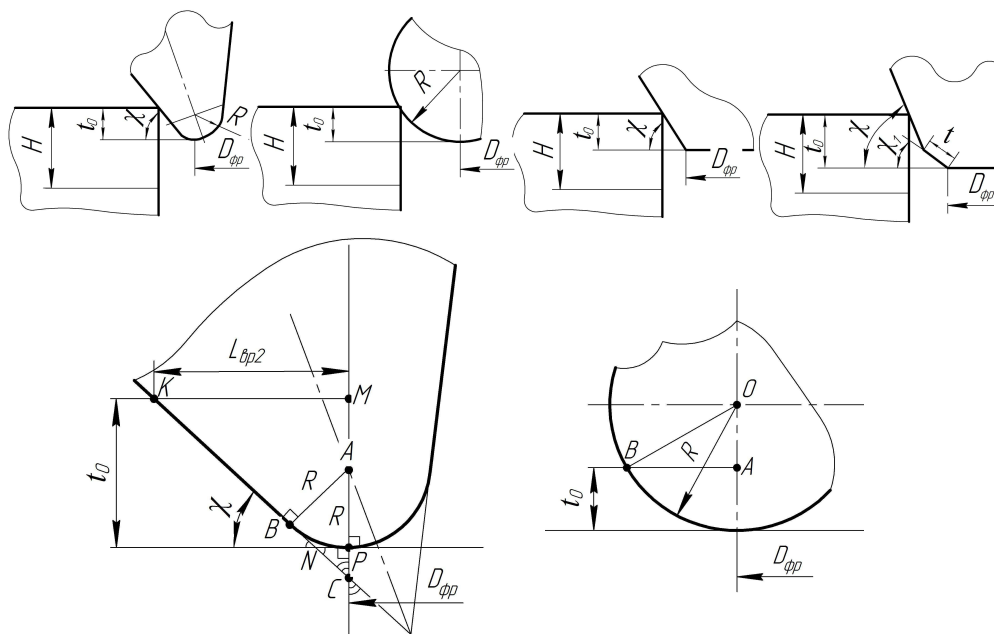


Рисунок 5. – Варианты пластин для определения L_{ep2} с примерами расчетных схем

Для круглой пластины (см. рисунок 5) из $\triangle OAB$:

$$OA = R - t_o; \quad OB = R;$$

$$L_{ep2} = AB = \sqrt{R^2 - (R - t_o)^2} = \sqrt{R^2 - (R^2 - 2Rt_o + t_o^2)} = \sqrt{t_o(2R - t_o)}.$$

В том случае, если при врезании вектор, условно направленный из центра фрезы параллельно подаче, не перпендикулярен к прямой врезания на заготовке или не направлен в центр радиуса заготовки ($K > \frac{B_{ex}}{2}$ и $K \neq 0$), то расчет составляющей величины врезания L_{ep2} следует вести согласно схемам, представленным на рисунке 6.

Для врезания по прямой

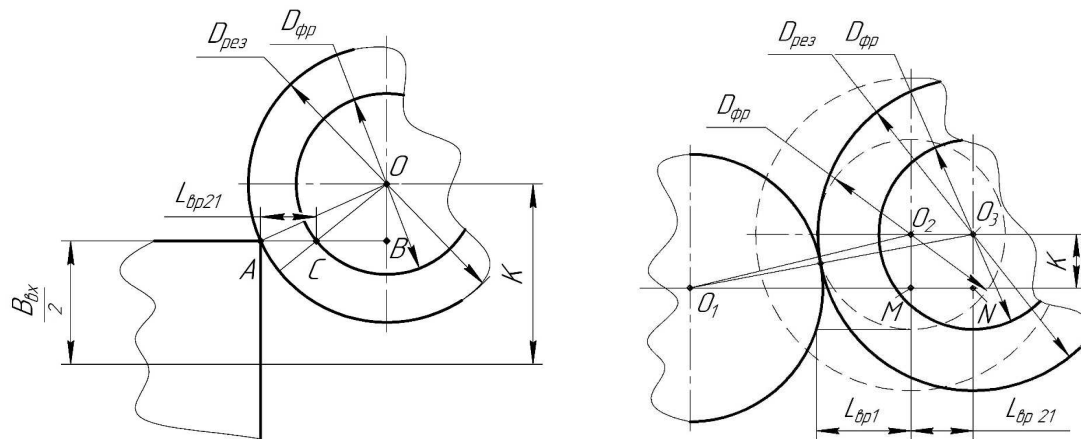
$$L_{ep21} = AB - CB.$$

Из $\triangle AOB$ и $\triangle COB$

$$AB = \sqrt{\left(\frac{D_{рез}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{ex}}{2}\right)^2}; \quad CB = \sqrt{\left(\frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{ex}}{2}\right)^2},$$

где $D_{рез} = D_{фр} + L_{ep2}$.

$$L_{ep21} = \sqrt{\left(\frac{D_{рез}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{ex}}{2}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - \left(K - \frac{B_{ex}}{2}\right)^2}$$

Рисунок 6. – Расчетные схемы расчета составляющей величины врезания $L_{вр2}$

при $K > \frac{B_{ax}}{2}$ и $K \neq 0$

Для врезания по окружности

$$L_{вр21} = O_2O_3 = MN = O_1N - O_1M.$$

Из $\triangle OO_1M$ и $\triangle OO_3N$

$$O_1N = \sqrt{\left(R_{ax} + \frac{D_{рез}}{2}\right)^2 - K^2}; O_1M = \sqrt{\left(R_{ax} + \frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - K^2},$$

$$L_{вр21} = \sqrt{\left(R_{ax} + \frac{D_{рез}}{2}\right)^2 - K^2} - \sqrt{\left(R_{ax} + \frac{D_{фр}}{2}\right)^2 - K^2}.$$

Предложенные методики, модели и алгоритмы позволили создать программное обеспечение системы поддержки принятия решений и доказать их работоспособность (рисунок 7).

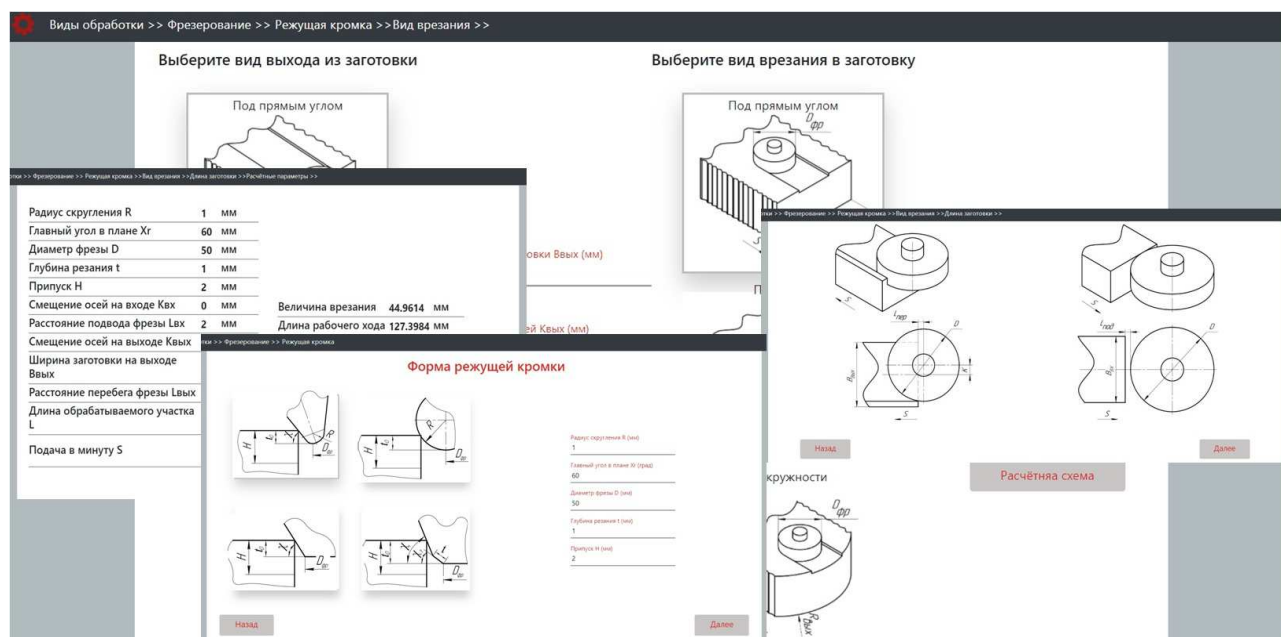


Рисунок 7. – Интерфейсы программного обеспечения системы поддержки принятия решений

Основной интерфейс приложения разработан с помощью языка гипертекстовой разметки HTML, для перехода между страницами используются ссылки, а для размещения картинок, текста и полей для ввода – блоки. Для визуального восприятия были применены таблицы стилей CSS. Математическая часть и логические взаимосвязи приложения реализованы с помощью JavaScript.

При работе с системой пользователь последовательно вводит информацию о геометрических параметрах заготовки на входе и выходе инструмента, смещении фрезы относительно плоскости симметрии, припусках и режимах резания, геометрических параметрах твердосплавных пластин и фрезы в целом, а результатом работы являются координаты начального и конечного положений фрезы, величины врезания, рабочих ходов и основное (машинное) время обработки на участках врезания и устойчивого резания фрезы.

Заключение. На основе анализа условий врезания фрез и их геометрических параметров предложен новый подход к моделированию рациональных положений систем координат заготовки и инструмента в начальной и конечной точках траекторий резания, а также величин врезания инструментов при торцовом фрезеровании современными твердосплавными пластинами, обеспечивающий минимальные значения длин врезания и рабочих ходов и, как следствие, снижение затрат на обработку.

Представление разработанных методик на языке теории автоматизации проектирования, алгебры логики и теории алгоритмов позволило создать систему поддержки принятия решений для определения ряда параметров размерной настройки торцовых фрез при программировании обработки на станках с ЧПУ и доказать их работоспособность.

Система прошла опытную эксплуатацию в учебном процессе кафедр технологии и оборудования машиностроительного производства учреждений образования «Витебский государственный технологический университет» и «Полоцкий государственный университет». Использование системы позволяет снизить затраты на обработку плоских поверхностей торцовыми фрезами за счет минимизации величин рабочих ходов фрез и сокращения основного (машинного) времени их обработки.

Разработки могут использоваться в проектных бюро машиностроительных предприятий при размерной настройке универсальных фрезерных станков и проектировании их наладок, разработке управляющих программ для станков с ЧПУ фрезерной группы; в организациях, специализирующихся на создании систем автоматизированного проектирования для разработки и совершенствовании САМ-систем; в учебном процессе для подготовки специалистов в области технологии машиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Iscar: MP [Электронный ресурс] / Сайт производителя. – Режим доступа: <https://mpwr.iscar.com/MachiningPower>. – Дата доступа: 02.04.2021.
2. Sandvik coromant: режимы резания [Электронный ресурс] / Сайт производителя. – Режим доступа: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/Pages/toolguide.aspx>. – Дата доступа: 26.03.2021.
3. Walter: калькулятор для расчета режимов резания [Электронный ресурс] / Сайт производителя. – Режим доступа: <https://www.walter-tools.com/ru-ru/press/media-portal/apps/tools-more/pages/default.aspx>. – Дата доступа: 26.03.2021.
4. Борте, А. В приоритете разработчика – повышение эффективности программирования обработки на станках с ЧПУ. Что нового в Mastercam 2021 / А. Борте, В. Воржак // CAD/CAM/CAE Observer. – 2020. – № 4 (136). – С. 58–63.
5. Основы разработки управляющих программ для станков с ЧПУ в системе SiemensNX : учеб. пособие / М.С. Аносов [и др.]. – Ниж. Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2019. – 110 с.
6. Компас 3-D. Модуль ЧПУ: Фрезерная обработка [Электронный ресурс] / Сайт производителя. – Режим доступа: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu-fo/>. – Дата доступа: 26.03.2021.
7. Hexagon. Manufacturing Intelligence: edgcam [Электронный ресурс] / Сайт производителя. – Режим доступа: <http://www.edgcamsoftware.ru/edgcam-mill-turn/>. – Дата доступа: 26.03.2021.
8. SolidCAM. The Leaders in integrated CAM: SolidCAM – полноценное CAM htiybt [Электронный ресурс] / Сайт производителя. – Режим доступа: <https://www.solidcam.com/ru/cam-reshenija/moduli-cam/>. – Дата доступа: 26.03.2021.
9. Долматовский, Г.А. Справочник технолога по обработке металлов резанием / Г.А. Долматовский. – Изд. 3-е, перераб. – М. : Машгиз, 1962. – 1228 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 941 с.
11. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Инноваци. машиностроение, 2018. – Т. 2. – 818 с.
12. Беляков, Н.В. Современные тенденции развития оборудования и инструмента для изготовления деталей машин : учеб. пособие / Н.В. Беляков, В.А. Горохов. – Витебск : ВГТУ, 2021. – 639 с.
13. Попок, Н.Н. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / Н.Н. Попок, В.И. Абрамов. – Новополоцк : ПГУ, 2020. – 271 с.

Поступила 12.05.2021

**DIMENSIONAL ADJUSTMENT DECISION SUPPORT SYSTEM END MILLS
FOR PROGRAMMING MACHINING ON CNC MACHINES****N. POPOK, N. BELYAKOV, V. YANOVICH**

Based on the analysis of the cutting conditions of the milling cutters and their geometric parameters, a approach to modeling the rational positions of the coordinate systems of the workpiece and tool at the beginning and end points of the cutting paths, as well as the values of the cutting tools during face milling with modern carbide plates, is proposed, which provides the minimum values of the cutting lengths and working strokes. The presented decision support system makes it possible to perform automated calculation of the specified parameters for dimensional adjustment of milling machines. The use of the system in machine-building enterprises makes it possible: to reduce the cost of processing flat surfaces with end mills due to the reduction of the main (machine) time by minimizing the values of the working strokes of the cutters; to increase the service life and the stand-up period of the cutter due to the appointment of the sparing cutting modes recommended by tool manufacturers in the area of dynamic loads when cutting the cutters. The results of the work can also be useful in organizations specializing in the development of CAM systems and the educational process.

Keywords: milling cutter, main time, embedding, working stroke, CAM-system, CNC, control program, production preparation, mechanical engineering.

УДК 621.774

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ Q -ФАКТОРА
В КОНТРОЛЬНЫХ СЕЧЕНИЯХ КОНУСА ДЕФОРМАЦИИ СТАНА
ХОЛОДНОЙ ПИЛЬГЕРНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ**

*канд. техн. наук, доц. С.В. ПИЛИПЕНКО
(Полоцкий государственный университет),
д-р техн. наук, проф. В.У. ГРИГОРЕНКО*

(Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Днепр)

Исследуется влияние метода расчета начальных значений геометрических параметров конуса деформации на точность определения характера распределения Q -фактора вдоль конуса деформации стана ХПТ как важного фактора, создающего необходимые условия деформации, обеспечивающие образование требуемой текстуры труб из сплава Ti-3Al-2.5V. Методы исследований базировались на существующей зависимости, описывающей влияние истинных обжатий сечения вдоль конуса деформации на величину Q -фактора в этом сечении, а также ряда зависимостей, выведенных разными авторами для определения начальных значений геометрических параметров произвольного сечения конуса деформации перед двойным ходом клетки стана ХПТ. В рамках этого предложен свой, «прямой», метод определения начальных значений геометрических параметров произвольного сечения конуса деформации, базирующийся на интерполяции данных калибровки инструмента стана ХПТ. Алгоритм «прямого» метода расчета начальных значений геометрических параметров конуса деформации позволяет с большей точностью определять как эти величины, так и точность значения Q -фактора при применении других методов (по формулам Я.Е. Осады, Б.М. Рогова и упрощенной формуле определения величины редуцирования) определения рассматриваемых деформационных параметров для расчета величины Q -фактора.

Ключевые слова: *холоднокатанные трубы, титановый сплав Ti-3Al-2.5V, тип текстуры, холодная пильгерная валковая прокатка труб, геометрические характеристики сечения, обжатие вдоль конуса деформации, Q -фактор.*

Введение. Современная технология холодной прокатки труб из титановых сплавов типа Ti-3Al-2.5V, используемых в гидросистемах самолетов и других ответственных элементах машин и механизмов, предполагает получение продукции с определенной ориентацией зерен [1–3]. Требования к виду текстуры материала такого вида трубной продукции и методики определения наличия нужной текстуры строго регламентированы стандартами и требуют беспрекословного выполнения. Производители вынуждены проводить ряд мероприятий по обеспечению наличия необходимых режимов деформационной и термической обработки труб в ходе переделов холодной прокатки [3–6].

Готовая трубная продукция такого вида должна иметь так называемую радиальную текстуру, которая обеспечивает [1–4]:

- повышение усталостной прочности;
- повышение пластичности при данной величине предела прочности;
- повышение предела текучести;
- более высокую вязкость.

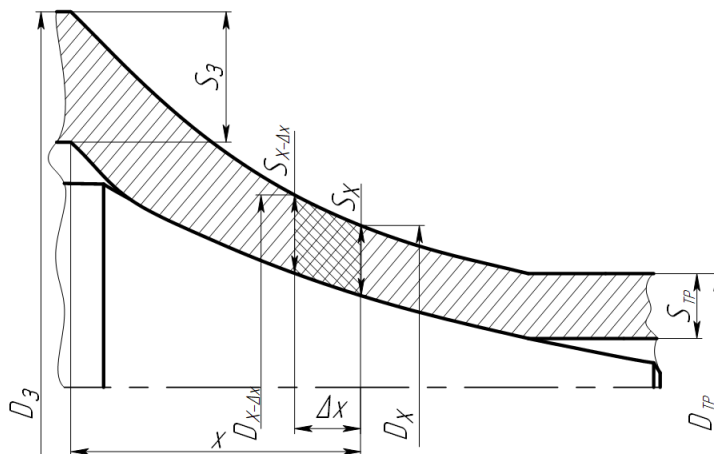
Таким образом можно обеспечить необходимые технологические характеристики трубопроводов при их меньшем удельном весе. В самолето- и ракетостроении данный фактор является очень чувствительным. Ti-3Al-2.5V – это α -титан [5–9] с гексагональной плотноупакованной решеткой. В отличие от сплавов с β -структурой он менее пластичен [3]. Однако именно наличие анизотропии свойств, в зависимости от ориентации плоскостей ГПУ-кристалла, позволяет удовлетворять эти сложные требования к готовым трубным изделиям [2; 3].

Одним из основных параметров, контролируемых в ходе холодной прокатки такого вида труб, является так называемый Q -фактор [2; 3]. Его величина контролируется расчетно как вдоль конуса деформации в каждом проходе, так и из прохода в проход. Это требует не только дополнительных усилий, но и повышения точности расчетов параметров, связанных с определением величины Q -фактора.

Цель данной работы – исследование влияния метода расчета геометрических параметров контрольного сечения конуса деформации до его деформации за двойной ход клетки на точность определения величины Q -фактора в контрольных сечениях конуса деформации для контроля создаваемого распределения величины Q -фактора для получения качественной трубной продукции условий деформации.

Методология. Если рассмотреть сечение, которое отстоит от начала конуса деформации на расстоянии x (рисунок 1), то величину Q -фактора в этом сечении можно определить из зависимости [1–4]

$$Q = \frac{\ln \frac{S_x}{S_{x-\Delta x}}}{\ln \frac{D_x - S_x}{D_{x-\Delta x} - S_{x-\Delta x}}} \quad (1)$$



D_x и S_x – геометрические параметры рассматриваемого сечения после деформации двойным ходом клетки;
 $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ – геометрические параметры рассматриваемого сечения до деформации двойным ходом клетки;
 Δx – смещение рассматриваемого сечения за двойной ход клетки

Рисунок 1. – Схема к определению $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ в произвольно выбранном сечении конуса деформации стана холодной пильгерной валковой прокатки труб

Из формулы (1) и рисунка 1 видно, что ряд исходных величин, необходимых для проведения расчета, можно условно разделить на три группы:

1) одни из них заданы, их величина и отклонение этих параметров от среднего значения заранее известны:

- S_{mp} – толщина стенки готовой трубы после каждого прохода в маршруте прокатки и допуски на ее точность;
- D_{mp} – диаметр готовой трубы после каждого прохода в маршруте прокатки и допуски на его точность;
- S_3 – толщина стенки трубы-заготовки перед каждым проходом и допуски на ее точность;
- D_3 – диаметр трубы-заготовки перед каждым проходом и допуски на его точность;

2) часть исходных величин берут из рассчитанной калибровки и с их определением не возникает сложностей:

- S_x – толщина стенки в контрольном сечении конуса деформации после двойного хода клетки;
- D_x – диаметр конуса деформации в контрольном сечении конуса деформации после двойного хода клетки;

3) следующие величины можно рассчитать несколькими способами, имеющими ту или иную точность:

- $S_{x-\Delta x}$ – толщина стенки контрольного сечения конуса деформации до ее деформации за двойной ход клетки;

- $D_{x-\Delta x}$ – диаметр контрольного сечения конуса деформации до его деформации за двойной ход клетки.

При определении $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ (см. рисунок 1) исходными величинами, как правило, являются:

- m – подача трубы перед двойным ходом клетки;
- $\mu_{\Sigma x}$ – вытяжка трубы вдоль конуса деформации;
- $\text{tg} \gamma = \frac{D_{x-1} - D_x}{2L_{x-1+x}}$ – конусность калибра на рассматриваемом участке;
- $\text{tg} \alpha = \frac{d_{x-1} - d_x}{2L_{x-1+x}}$ – конусность оправки на рассматриваемом участке.

Известно, что при обжатии каждого сечения конуса деформации за двойной ход клетки данное сечение смещается вдоль конуса на величину Δx , которую можно определить, либо используя формулу Я.Е. Осады [2; 10–12]

$$\Delta x_x = \frac{\sqrt{S_x^2 + 2 \sqrt{(\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha) \frac{m S_3 (S_3 - D_3)}{D_x - S_x}} - S_x}}{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha} \quad (2)$$

либо из упрощенного выражения

$$\Delta x_x = m \mu_{\Sigma x}. \quad (3)$$

Толщину стенки контрольного сечения конуса деформации до ее деформации за двойной ход клети $S_{x-\Delta x}$ можно определить, используя либо формулу Я.Е. Осады, выведенную из формулы (2),

$$\Delta S_{x-\Delta x} = \sqrt{S_x^2 + 2 \cdot \frac{m S_3 (S_3 - D_3)}{D_x - S_x} (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha) - S_x}, \quad (4)$$

либо формулу Б.М. Рогова, выведенную из упрощенной формулы (3) [9],

$$\Delta S_{x-\Delta x} = m \mu_{\Sigma x} (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha), \quad (5)$$

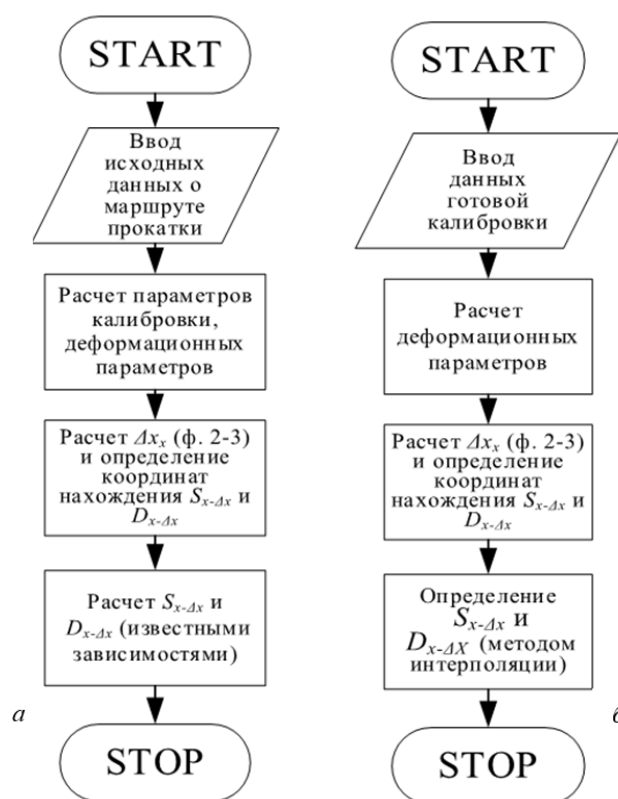
где $\mu_{\Sigma x} = \frac{F_3}{F_x}$.

Известно, что формулы Я.Е. Осады (2) и (4) дают более точные результаты расчетов, чем формула (3) и формула Б.М. Рогова (5) [2; 10–12]. Для расчета $D_{x-\Delta x}$ можно использовать формулу [10]

$$D_{x-\Delta x} = D_x + 2 m \mu_{\Sigma x} \operatorname{tg} \gamma. \quad (6)$$

Данная формула выведена из определения Δx по формуле (3).

Формулы (4)–(6) выведены с определенными допущениями, поэтому авторами статьи предлагается «прямой», более точный, метод определения величины $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ (рисунок 2).



а – во время расчета калибровки или при известной методике расчета калибровки;
б – по готовым данным калибровки, рассчитанной по неизвестным зависимостям

Рисунок 2. – Алгоритм определения $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$

Данный метод имел положительную практику использования в ходе расчета калибровок промышленных партий труб из титановых сплавов с заранее заданным распределением Q -фактора вдоль конуса деформации.

При расчете Δx в сечениях конуса деформации на практике предлагается использовать формулу (2), т.к. точность определения величины Δx по данной формуле более высокая, чем у формулы (3) [2]. Опыт авторов в расчетах калибровок станов холодной прокатки труб доказывает, что оба указанных на рисунке 2 алгоритма дают сопоставимые по точности результаты.

Исходя из вышеприведенного, значения $S_{x-\Delta x}$ можно рассчитать следующими способами:

- $S_{x-\Delta x}$ (ф. 4) – определение $S_{x-\Delta x}$ по формуле (4);
- $S_{x-\Delta x}$ (ф. 5) – определение $S_{x-\Delta x}$ по формуле (5);
- $S_{x-\Delta x}$ (рис. 2, ф. 2) – определение $S_{x-\Delta x}$ методом прямого расчета (см. рисунок 2) с определением Δx по формуле Я.Е. Осады (формула (2));
- $S_{x-\Delta x}$ (рис. 2, ф. 3) – определение $S_{x-\Delta x}$ методом прямого расчета (см. рисунок 2) с определением Δx по формуле (3).

Значения $D_{x-\Delta x}$:

- $D_{x-\Delta x}$ (ф. 6) – определение $D_{x-\Delta x}$ по формуле (6);
- $D_{x-\Delta x}$ (рис. 2, ф. 2) – определение $D_{x-\Delta x}$ методом прямого расчета (см. рисунок 2) с определением Δx по формуле Я.Е. Осады (формула (2));
- $D_{x-\Delta x}$ (рис. 2, ф. 3) – определение $D_{x-\Delta x}$ методом прямого расчета (см. рисунок 2) с определением Δx по формуле (3).

Поскольку формула (2) определяет величину Δx в сечениях конуса деформации с большей точностью [2], а при определении величин $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ «прямым» методом отсутствуют упрощения, принятые при выведении формул (5) и (6), то при дальнейшем анализе для сравнения точности расчетов $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ принимается следующее:

- $S_{x-\Delta x}$ (рис. 2, ф. 2) – определяем $S_{x-\Delta x}$ методом прямого расчета (см. рисунок 2, а), для расчета Δx используем формулу Я.Е. Осады (формула (2));
- $D_{x-\Delta x}$ (рис. 2, ф. 2) – определяем $D_{x-\Delta x}$ методом прямого расчета (см. рисунок 2, а), для расчета Δx используем формулу Я.Е. Осады (формула (2)).

Для расчетов выбран маршрут прокатки труб из титанового сплава Ti-3Al-2.5V на стане ХПТ-55: 41х4,4 – 23х1,95 мм. Q -фактор за проход $Q = 1,471$; относительное обжатие по площади поперечного сечения $\varepsilon_F = 74,51\%$; относительное обжатие по толщине стенки $\varepsilon_S = 55,68\%$; относительное обжатие по внешнему диаметру $\varepsilon_D = 43,9\%$; вытяжка за проход $\mu_\Sigma = 3,92$. Расчетная величина подачи $m = 7$ мм.

На рисунке 3 показаны результаты анализа точности выбранных методов расчета толщины стенки в контрольных сечениях конуса деформации до ее деформации за двойной ход клетки ($S_{x-\Delta x}$). Сравнения показаны в относительных единицах разбега точности определения $S_{x-\Delta x}$.

Согласно графику (см. рисунок 3, а), если производить расчет величины $S_{x-\Delta x}$ «прямым» методом по алгоритму, указанному на рисунке 2, а, но с определением величины Δx по формуле (3), то получим увеличенные значения $S_{x-\Delta x}$ во всех сечениях зоны обжатия конуса деформации в сравнении с величиной $S_{x-\Delta x}$, рассчитанной тем же методом, но с определением Δx по формуле Я.Е. Осады (2). Однако наблюдаемое увеличение значений $S_{x-\Delta x}$ гораздо меньше одного процента.

Если производить расчет величины $S_{x-\Delta x}$ по формуле Б.М. Рогова (формула (5)) (см. рисунок 3, б), то разница со сравниваемым методом колеблется в границах от $-0,1$ до $2,67\%$. Рассчитывая $S_{x-\Delta x}$ по формуле Я.Е. Осады (формула (4)), мы снова имеем колебание разницы значений, лежащих в пределах $\pm 1\%$.

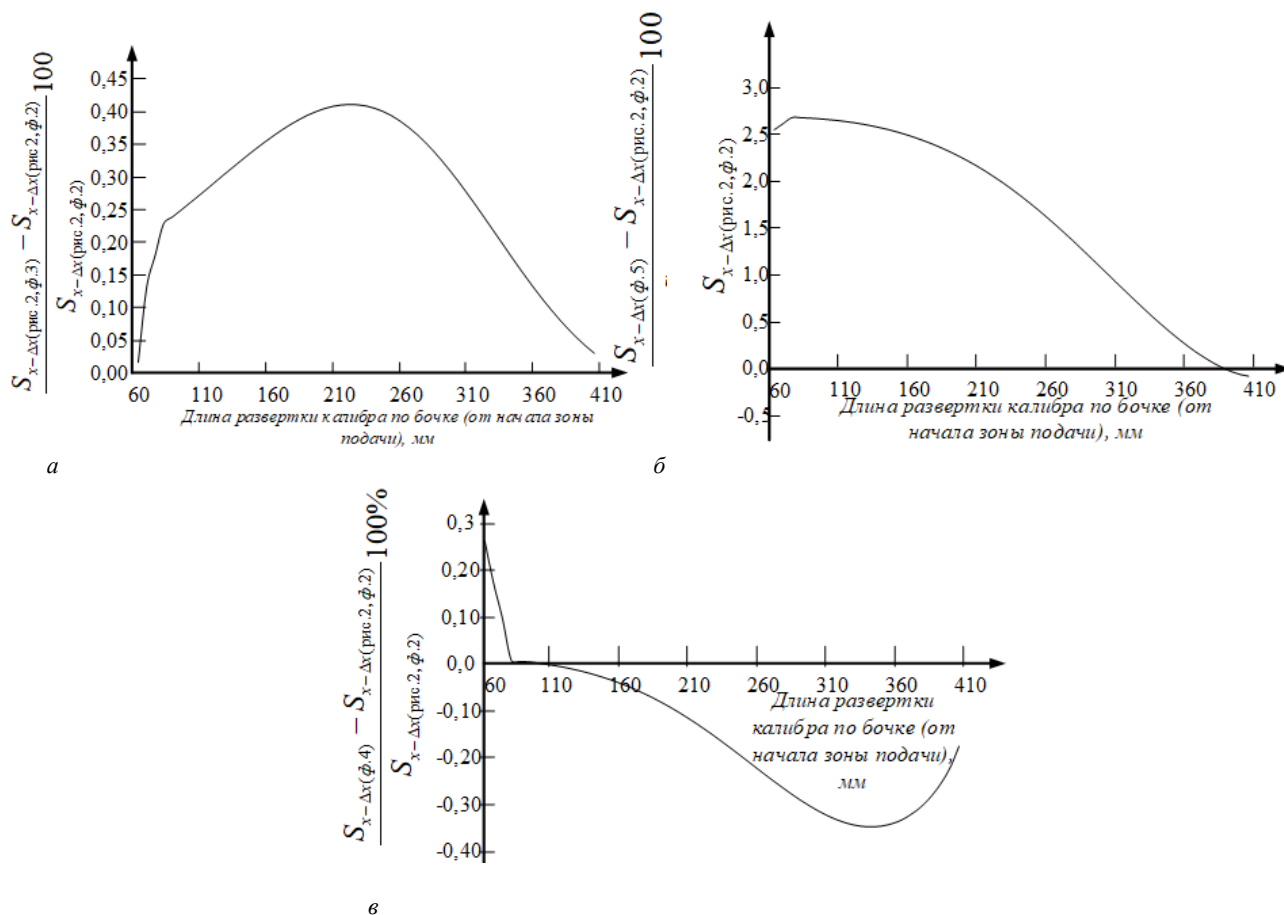
На рисунке 4 показаны графики изменения ΔD_x , рассчитанной «прямым» методом согласно алгоритму, указанному на рисунке 2, б, с определением Δx по формулам (2) и (3) и результатов расчета ΔD_x при $D_{x-\Delta x}$, найденной по формуле (6).

При расчете ΔD_x «прямым» методом согласно алгоритму, указанному на рисунке 2, а, определение Δx как по формуле (2), так и по формуле (3) не приводит к значительной разнице итоговых значений ΔD_x . Несмотря на то, что ΔD_x по формуле (6) показал меньшие значения, в целом можно считать, что точность этих методов сравнима и достаточна для такого вида расчетов.

Таким образом, имеются следующие методы определения величины Q -фактора (рисунок 5):

- определение $S_{x-\Delta x}$ по формуле (4), а определение $D_{x-\Delta x}$ по формуле (6);
- определение $S_{x-\Delta x}$ по формуле (4), а определение $D_{x-\Delta x}$ «прямым» методом (с определением Δx по одной из двух вышеуказанных формул);
- определение $S_{x-\Delta x}$ по формуле (5), а определение $D_{x-\Delta x}$ по формуле (6);
- определение $S_{x-\Delta x}$ по формуле (5), а определение $D_{x-\Delta x}$ «прямым» методом (с определением Δx по одной из двух выше указанных формул);

– определение и $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ «прямым» методом (с определением Δx по одной из двух указанных формул).



- а** – определение величины $S_{x-\Delta x}$ «прямым» методом расчета (см. рисунок 2, а), но с определением Δx по формуле (3);
б – определение величины $S_{x-\Delta x}$ по формуле Б.М. Рогова (формула (5));
в – определение величины $S_{x-\Delta x}$ по формуле Я.Е. Осады (формула (4))

Рисунок 3. – Разбег значений $S_{x-\Delta x}$ в сравнении с $S_{x-\Delta x}$, рассчитанной «прямым» методом расчета (см. рисунок 2, а) с определением Δx по формуле (2)

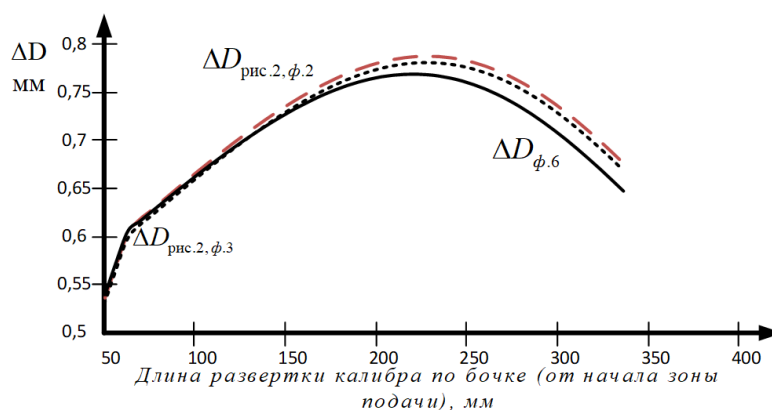


Рисунок 4. – Результаты расчетов распределение ΔD_x вдоль конуса деформации

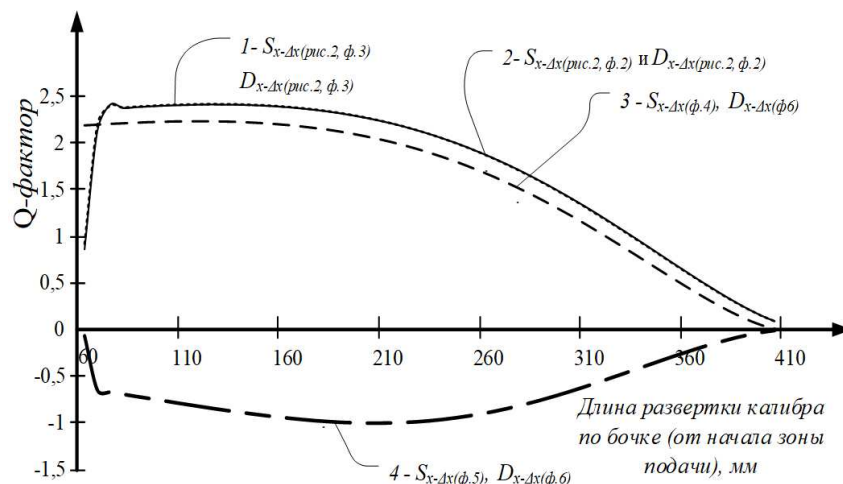


Рисунок 5. – Распределение Q -фактора вдоль конуса деформации, рассчитанное различными способами определения $S_{x-\Delta x}$ и $D_{x-\Delta x}$

Как видно из рисунка 5, при расчете $D_{x-\Delta x}$ и $S_{x-\Delta x}$ «прямым» методом, как с определением Δx по формуле (2) (кривая 2, см. рисунок 5), так и по формуле (3) (кривая 1, см. рисунок 5), кривые полученных значений Q -фактора практически сливаются (с разбегом значений гораздо меньше одного процента).

Определяя значения $D_{x-\Delta x}$ по формуле (6), а $S_{x-\Delta x}$ по формуле Я.Е. Осады (4), получаем более низкие (в основном) значения Q -фактора. Отклонение значений от кривой 2 составляет от -8 до -67% (исключая первые сечения зоны обжатия, где разница достигает $+152\%$).

Определение значений $D_{x-\Delta x}$ по формуле (6), $S_{x-\Delta x}$ по формуле Б.М. Рогова (5) в итоге выдает совершенно неадекватные значения Q -фактора.

На рисунке 6 (кривая 1) сделано сравнение еще одного метода расчета величины Q -фактора (с расчетом $S_{x-\Delta x}$ по формуле Я.Е. Осады (4), а $D_{x-\Delta x}$ «прямым» методом с определением Δx по формуле (2)) с кривыми распределения Q -фактора 2 и 3 (см. рисунок 5). В начале зоны обжатия (за исключением первых 2-х сечений) кривая 1 совпадает с кривой 2, затем по мере уменьшения доли величины обжатия по толщине стенки в сравнении с величиной редуцирования кривая 1 плавно переходит в кривую 2 (рисунок 6).

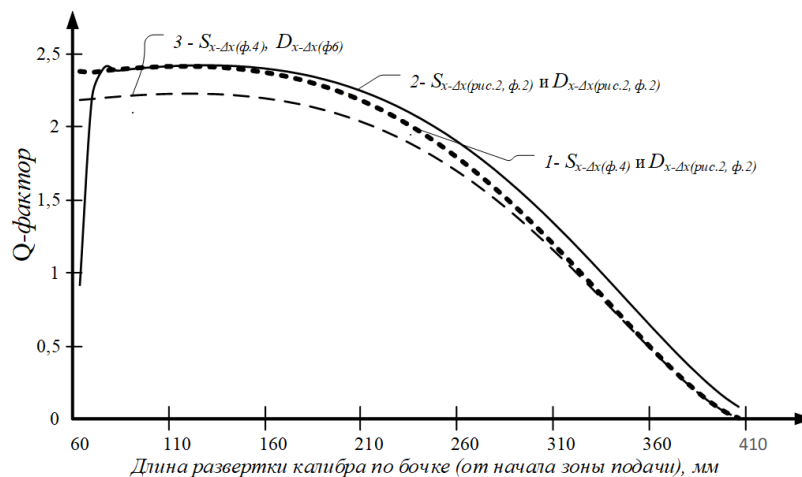


Рисунок 6. – Сравнение кривой распределение Q -фактора с расчетом $S_{x-\Delta x}$ по формуле Я.Е. Осады (формула (4)), а $D_{x-\Delta x}$ «прямым» методом, с определением Δx по формуле (2), с кривыми 2 и 3 (см. рисунок 5)

Закключение:

1. Выявлено, что выбор неверного метода расчета начальных значений величин толщины стенки и диаметра сечения конуса деформации ($S_{x-\Delta x}$ и $D_{x-\Delta x}$) может привести к значительным ошибкам при расчете характера распределения Q -фактора вдоль конуса деформации стана ХПТ.

2. Расчет Q -фактора «прямым» методом и методом с применением формулы Я.Е. Осады (4) коррелируется по результатам расчетов. При этом «прямой» метод расчетов показал повышенные результаты Q -фактора во всех сечениях конуса деформации в сравнении со случаями использования формулы (4).

3. Формула Б.М. Рогова для определения $S_{x-\Delta x}$ наименее точна, поэтому рассчитанные значения Q -фактора в сечениях конуса деформации в значительной мере отличаются как от результатов расчетов по формуле А.Е. Осады (4), так и от результатов расчетов, полученных «прямым» методом.

4. Использование «прямого» метода расчета $S_{x-\Delta x}$ и $D_{x-\Delta x}$ позволяет практически нивелировать неточность определения величины Δx по формуле (3), однако использование в расчетах формулы (2) более предпочтительно.

5. Использование упрощенной формулы (6) для определения $D_{x-\Delta x}$ приводит к уменьшению точности полученных результатов, и ее рекомендуется использовать только с формулой А.Е. Осады (4).

6. В целом при определении распределения Q -фактора вдоль конуса деформации стана ХПТ для расчета $S_{x-\Delta x}$ и $D_{x-\Delta x}$ предлагается использовать приведенный алгоритм «прямого» метода расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pilipenko, S.V. Deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3Al-2.5V alloy / S.V. Pilipenko, V.U. Grigorenko, O.O. Bohdanov // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2021. – № 1. – С. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/078>.
2. Пилипенко, С.В. Исследование точности определения обжатия по толщине стенки вдоль конуса деформации за двойной ход клетки станов ХПТ / С.В. Пилипенко // *Сталь*. – 2017. – № 2. – С. 94–97.
3. Пилипенко, С.В. Анализ влияния технологических факторов процесса холодной прокатки труб на изменение распределения Q -фактора вдоль конуса деформации / С.В. Пилипенко // *Изв. высш. учеб. заведений. Цв. металлургия*. – 2019. – № 3. – С. 30–35.
4. Определение технологической возможности изготовления нового вида бесшовных труб TrEx из титанового сплава Ti-3Al-2.5V / Я.И. Космацкий [и др.] // *Качество в обработке материалов*. – 2016. – № 2 (6). – С. 15–22.
5. Rui, L. Quasi-Static and Dynamic Properties of Ti-3Al-2.5V Titanium Alloy Tubes. / Liu Rui, Li Yang // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – V. 381. – P. 1–5. DOI: 10.1088/1757-899X/381/1/012167.
6. Texture Development of Ti-3Al-2.5V Titanium Alloy Tubes / Z. Li [et al.] // *Rare Metal Materials and Engineering*. – 2017. – V. 46. – P. 233–239. DOI: 10.1016/S1875-5372(18)30023-7.
7. Influence of texture on mechanical properties of titanium alloy tubes / V. Vakhrusheva [et al.] // *Physical Metallurgy and Heat Treatment of Metals*. – 2019. – V. 844. – P. 182–187. DOI: 10.30838/J.PMHTM.2413.241219.16.596.
8. Texture evolution and controlling of high-strength titanium alloy tube in cold pilgering for properties tailoring / H. Li [et al.] // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2019. – V. 279. – P. 116520. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116520.
9. Мищенко, А.В. Состояние и тенденции развития производства холоднокатаных труб из сплавов на основе титана / А.В. Мищенко // *Металл и литей Украины*. – 2019. – № 3-4. – С. 310–311.
10. Grigorenko, V.U. Variation in wall thickness of cold-rolled pipe / V.U. Grigorenko, S.V. Pilipenko // *Steel in Translation*. – 2008. – 38 (9). – P. 775–776. DOI: 10.3103/S0967091208090209.
11. Шевакин, Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю.Ф. Шевакин. – М.: Металлургия, 1963. – 212 с.
12. Геометрия прокатного инструмента и алгоритмы его расчета для станов холодной прокатки труб / В.Ф. Балакин [и др.] // *Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес* // под ред. А.Г. Величко, В.И. Большакова, В.Ф. Балакина. – Днепрпетровск: Экономика, 2015. – С. 434–450.

Поступила 20.04.2021

INCREASING THE ACCURACY OF DETERMINING THE Q-FACTOR IN CONTROL SECTIONS OF THE STAN DEFORMATION CONE COLD PILGER ROLLING PIPE

S. PILIPENKO, V. GRIGORENKO

The influence of the method for calculating the initial values of the geometric parameters of the deformation cone on the accuracy of determining the nature of the distribution of the Q -factor along the deformation cone of the cold rolling mill is investigated as an important factor that creates the necessary deformation conditions that ensure the formation of the required texture of pipes made of Ti-3Al-2.5V alloy. The research methods were based on the existing dependence describing the effect of true cross-section compressions along the deformation cone on the value Q -factor in this section, as well as a number of dependencies, derived by different authors to determine the initial values of the geometric parameters of an arbitrary section of the deformation cone before the double stroke of the stand of the KhPT mill. Within the framework of this, a “direct” method of determining the initial values of the geometric parameters of an arbitrary section of the deformation cone, based on the interpolation of the calibration data of the tool of the cold rolling mill, has been proposed. The algorithm of the “direct” method for calculating the initial values of the geometric parameters of the deformation cone makes it possible to more accurately determine both these values and the accuracy of the Q -factor when using other methods (according to the formulas of Ya.E. Osada, B.M. Rogov and a simplified formula for determining the amount of reduction) for determining the considered deformation parameters for calculating the value of the Q -factor.

Keywords: cold-rolled pipes, titanium alloy Ti-3Al-2.5V, texture type, cold pilger roll rolling of pipes, geometric characteristics of the section, compression along the deformation cone, Q -factor.

УДК 621.83.06

**ВЫБОР И РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ
ПЛАНЕТАРНОЙ ТОРОВОЙ ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ**

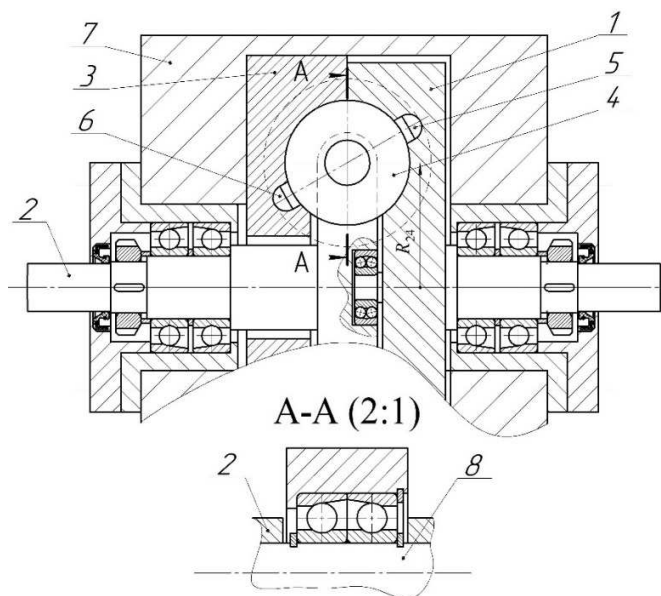
*канд. техн. наук, доц. А.П. ПРУДНИКОВ, А.Д. БОДУНОВА
(Белорусско-Российский университет, Могилев)*

Предложена схема установки подшипниковых опор в планетарной торовой винтовой передаче и разработан алгоритм расчета нагрузок, действующих на эти опоры. Полученные зависимости позволяют выполнить подбор подшипников для узлов передачи по динамической грузоподъемности. Предложена конструкция и выведены зависимости для расчета подшипников скольжения для составного ролика. Проведен анализ соотношения реакций в опорах узлов передачи, позволяющий установить вид и степень нагружения опор планетарной торовой винтовой передачи.

Ключевые слова: механическая передача, промежуточные тела качения, составной ролик, подшипниковый узел.

Введение. Планетарная торовая винтовая передача применяется в механизмах, в которых необходим редуктор с большими передаточными отношениями (до 100) в одной ступени и малыми габаритными размерами (от 80 до 200 мм) [1]. В частности, такие требования предъявляются при создании мехатронных модулей, мотор-редукторов, приводов роботов, запорной арматуры, следящих устройств, механизированных приспособлений.

Большие потоки мощности, передаваемые в ограниченных габаритах, приводят к высоким требованиям, предъявляемым при подборе подшипников для узлов планетарной торовой винтовой передачи. Наиболее нагруженным узлом передачи является составной ролик, посредством которого передается нагрузка от ведущего звена к ведомому. Составной ролик может быть установлен на ведомом валу посредством подшипника скольжения или качения. В свою очередь ведущий и ведомый валы устанавливаются в подшипниках качения, фиксирующих их расположение относительно корпуса передачи. Конструкция передачи со схемой установки подшипников приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1. – Конструкция планетарной торовой винтовой передачи
со схемой установки подшипников**

Профили торцовых поверхностей ведущего звена 1 и звена 3 образуют торовую поверхность, на которой нарезаны беговые дорожки. Вращение ведущего звена 1 с беговой дорожкой вынуждает поворачиваться вокруг своей оси составной ролик 4, взаимодействующий с беговой дорожкой посредством пальца 5. В тоже время второй палец 6 составного ролика 4 взаимодействует с беговой дорожкой на звене 3, которое закреплено в корпусе 7. Наложённые связи вынуждают составной ролик 4 поворачиваться вместе с ведомым валом 2, в котором он установлен посредством осей 8.

Для предупреждения потери работоспособности подшипниковых узлов передачи их необходимо рассчитывать (подбирать) исходя из режима работы передачи и действующих в ней нагрузок.

Основная часть. Ведущее звено и ведомый вал установлены в корпусе с помощью радиально-упорных подшипников, а также соединены друг с другом посредством сферического подшипника, предназначенного для уменьшения перекоса ведущего и ведомого валов. Составной ролик может быть установлен на ведомом валу посредством подшипника скольжения или качения.

Рассчитаем силы, действующие на подшипники качения, установленные в составном ролике, в соответствии со схемой на рисунке 2.

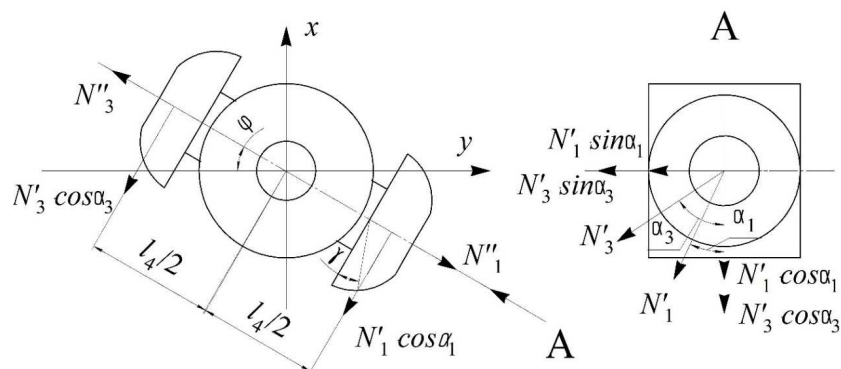


Рисунок 2. – Схема сил, действующих на подшипники составного ролика

Поскольку на составной ролик действуют как радиальные, так и осевые силы, то для повышения коэффициента полезного действия передачи в качестве опор для составного ролика целесообразно использовать радиально-упорные подшипники качения.

Пальцы составного ролика могут иметь цилиндрическую либо сферическую наружную поверхность, посредством которой они контактируют с беговой дорожкой. В случае сферической поверхности реакция, возникающая при взаимодействии пальца с беговой дорожкой, будет отклоняться от плоскости перпендикулярной оси вращения пальца на угол γ [2].

На составной ролик со стороны основных звеньев передачи действуют окружная, радиальная и осевая силы.

Окружная сила определяется по формуле

$$F_{t4} = (N_3 \cos \alpha_3 + N_1 \cos \alpha_1) \cos \gamma, \quad (1)$$

где N_1, N_3 – реакции, действующие на составной ролик со стороны беговых дорожек ведущего и заторможенного звеньев соответственно, Н;

α_1, α_3 – углы подъема кривых, образующих соответствующие беговые дорожки, рад.

Радиальная сила определяется по формуле

$$F_{r4} = (N_3 - N_1) \cdot \sin \gamma. \quad (2)$$

Осевая сила определяется как

$$F_{a4} = (N_3 \cdot \sin \alpha_3 + N_1 \cdot \sin \alpha_1) \cdot \cos \gamma. \quad (3)$$

Изгибающий момент, создаваемый осевой силой, равен

$$M_{a4} = \frac{l_4}{2} \cdot (N_3 \cdot \sin \alpha_3 - N_1 \cdot \sin \alpha_1) \cdot \cos \gamma, \quad (4)$$

где $\frac{l_4}{2}$ – расстояние от оси вращения составного ролика до середины его линии контакта с беговой дорожкой, м.

Максимальные реакции, возникающие в местах установки подшипников, действуют в двух плоскостях (рисунок 3):

– вертикальной:

$$R_4^e = \frac{F_{r4} \cdot e_4 + M_{a4}}{2 \cdot e_4}, \quad (5)$$

где e_4 – расстояние от точки приложения реакций подшипника до середины ширины составного ролика, м;

– горизонтальной:

$$R_4^x = \frac{F_{t4}}{2}. \quad (6)$$

Максимальная радиальная суммарная реакция, действующая на наиболее нагруженный из подшипников, равна

$$P_{r4} = \sqrt{(R_4^x)^2 + (R_4^y)^2}. \quad (7)$$

При расчете эквивалентной динамической нагрузки необходимо учитывать, что вращаться у подшипников в составном ролике будут наружные кольца, внутренние кольца будут неподвижны. Температура подшипника не превышает 125 °С; нагрузка на подшипник – с умеренными ударами, вызванными переходом пальца составного ролика с одной беговой дорожки на другую. Соответственно, эквивалентная динамическая нагрузка определяется по формуле

$$P_{r4} = 1,57 \cdot (1,2 \cdot X \cdot R_4 + Y \cdot H_{a4}), \quad (8)$$

где X, Y – факторы нагрузки, зависящие от типа и размеров подшипника;
 H_{a4} – горизонтальная реакция, действующая на подшипник [3, с. 362], Н.

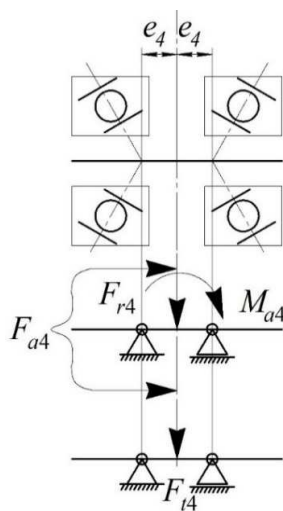


Рисунок 3. – Схема нагружения подшипников составного ролика

Поскольку составной ролик при числе оборотов ведущего вала поворачивается на 180°, то частоту вращения составного ролика и соответственно наружного кольца подшипника можно определить по формуле

$$n_4 = \frac{n_1}{2 \cdot Z_1}, \quad (9)$$

где n_1 – частота вращения ведущего звена, мин⁻¹;
 Z_1 – число витков винтовой линии, образующей беговую дорожку на ведущем звене.
 Ресурс подшипника

$$L_h = 60 \cdot n_4 \cdot t_4, \quad (10)$$

где t_4 – ресурс планетарной торовой винтовой передачи, ч.

Зная эквивалентную динамическую нагрузку на подшипник и его ресурс по известной зависимости [3, формула (16.27)], можно рассчитать требуемую динамическую грузоподъемность.

В случае накладывания ограничений на габаритные размеры передачи, а также высокой ее нагруженности и соответственно отсутствия возможности использования подшипников качения для составных роликов могут применяться подшипники скольжения, работающие при полужидкостном трении. Схема такого подшипникового узла приведена на рисунке 4.

Подшипник скольжения состоит из двух частей 1 и 2, устанавливаемых на зафиксированной на ведомом валу оси 3. Элемент 1 подшипника предназначен для восприятия радиальной и осевой нагрузок, элемент 2 – только для осевой нагрузки.

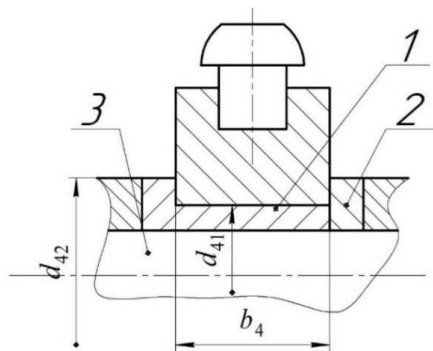


Рисунок 4. – Конструкция подшипника скольжения для составного ролика

Расчет подшипников скольжения выполняют по произведению давления на скорость:

$$p \cdot v = \left(\frac{P_{r4}}{b_4 \cdot d_{41}} \cdot \frac{\pi \cdot n_4 \cdot d_{41}}{60} \right) + \left(\frac{4 \cdot H_{a4}}{\pi \cdot (d_{42}^2 - d_{41}^2)} \cdot \frac{\pi \cdot n_4 \cdot (d_{41} + d_{42})}{60} \right), \quad (11)$$

где b_4 – ширина составного ролика, м;

d_{41} , d_{42} – соответствующие диаметры поверхностей подшипника скольжения, на которые опирается составной ролик, м.

При изготовлении подшипников скольжения из бронзы (материал БрО10Ф1) полученное по формуле (11) значение должно быть меньше 15 МПа·м/с.

При расчете реакций, действующих на подшипники качения ведущего и ведомого звеньев, необходимо учесть, что вследствие неравномерности распределения нагрузки между составными роликами радиальная нагрузка на валу не обращается в нуль.

При отсутствии компенсирующих устройств примем, что радиальная нагрузка на ведущий и ведомый валы будет соответствовать нагрузке от одного составного ролика, рассчитанной для случая равномерного распределения нагрузки между роликами. Максимальное значение радиальной нагрузки возникает при расположении пальцев составного ролика параллельно оси вращения ведомого вала [4]. Этот случай и будем рассматривать.

Силы, возникающие со стороны составного ролика и действующие на ведомый вал и соответственно на его подшипники, располагаются в двух плоскостях:

- горизонтальной: $F_{r2} = F_{a4}$;
- вертикальной: $F_{r2} = F_{t4}$ и M_{a2} .

$$M_{a2} = F_{r4} \cdot R_{24}, \quad (12)$$

где R_{24} – радиус поверхности, на которой располагаются оси вращения составных роликов (см. рисунок 1), м.

Осевая нагрузка, действующая на ведомый вал со стороны одного составного ролика, определяется по формуле

$$F_{a24} = (N_3 - N_1) \cdot \sin \gamma \cdot \cos \varphi \pm (N_3 \cdot \cos \alpha_3 + N_1 \cdot \cos \alpha_1) \cdot \cos \gamma \cdot \sin \varphi, \quad (13)$$

где φ – угол наклона оси вращения пальцев составного ролика относительно оси ведомого вала (см. рисунок 2), рад.

Знак «±» в формуле (13) зависит от того, в какой четверти координат (см. рисунок 2) находится палец составного ролика, взаимодействующий с беговой дорожкой на неподвижном звене. Знак «+» для второй координатной четверти и знак «–» для третьей.

Поскольку составные ролики установлены на ведомом валу с равным угловым шагом, то и их пальцы расположены вдоль беговой дорожки с равным угловым шагом. Следовательно, осевая сила, действующая на ведомый вал, создаваемая составными роликами, определяется как

$$F_{a2} = 0,32 \cdot n_p \cdot (((N_3 - N_1) \cdot \sin \gamma + (N_3 \cdot \cos \alpha_3 + N_1 \cdot \cos \alpha_1) \times \cos \gamma) + ((N_3 - N_1) \cdot \sin \gamma - (N_3 \cdot \cos \alpha_3 + N_1 \cdot \cos \alpha_1) \cdot \cos \gamma)), \quad (14)$$

где n_p – число составных роликов.

На ведущий вал и его подшипники со стороны составного ролика действуют следующие силы:

- в горизонтальной плоскости:

$$F_{t1} = N_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \cos \gamma; \quad (15)$$

– в вертикальной плоскости:

$$F_{r1} = N_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \gamma, \quad (16)$$

$$M_{a1} = N_1 \cdot \sin \gamma \cdot R_{24}. \quad (17)$$

Осевая сила, действующая на ведущее звено по аналогии с ведомым валом, определяется по формуле

$$F_{a1} = 0,32 \cdot n_p \cdot ((N_1 \cdot \sin \gamma + N_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \gamma) + (N_1 \cdot \sin \gamma - N_1 \cdot \cos \alpha_1 \cdot \cos \gamma)). \quad (18)$$

Эквивалентная динамическая нагрузка на подшипники ведущего и ведомого звеньев и их ресурс определяются в соответствии с [3, формулы (16.28), (16.29)]. При этом учитывается, что у подшипников вращается внутреннее кольцо. После чего рассчитывается требуемая динамическая грузоподъемность [3, формула (16.27)].

Сферический подшипник качения, соединяющий ведущий и ведомый валы, воспринимает только радиальные нагрузки. На рисунке 5 приведена схема нагружения для расчета реакций в сферическом подшипнике.

Полученная схема соединения валов с помощью сферического подшипника качения является статически неопределимой. Степень статической неопределимости равна единице. Решение статически неопределимой системы выполняется методом сил.

Каноническое уравнение метода сил [5, с. 277] составляется из условия равенства нулю перемещения валов в направлении, перпендикулярном оси их вращения в месте установки сферического подшипника. Из полученного уравнения можно определить величину реакций, возникающих в месте установки подшипника в горизонтальной и вертикальной плоскостях:

$$R_{12} = -\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}}, \quad (19)$$

где δ_{11} – перемещение по направлению реакции R_{12} от действия единичной силы, $\text{м}^2/(\text{Н} \cdot \text{кг})$;
 Δ_{1P} – перемещение по направлению реакции R_{12} от действия внешних сил, $\text{м}^2/\text{кг}$.

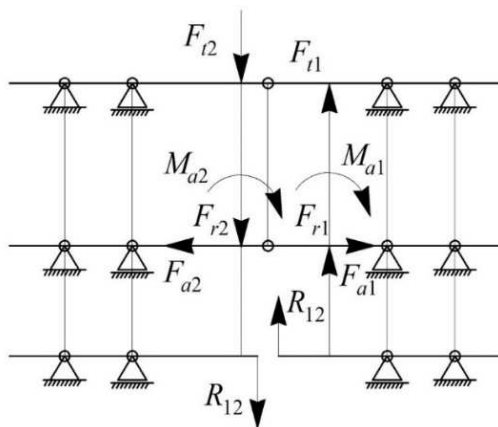


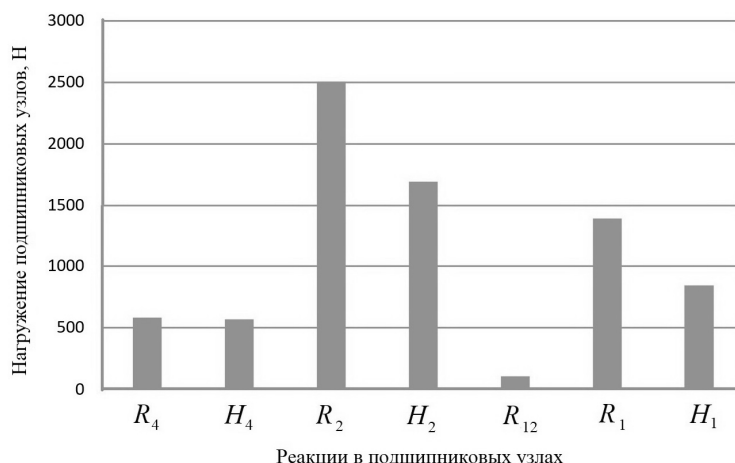
Рисунок 5. – Схема нагружения для расчета реакций в сферическом подшипнике

Коэффициенты канонического уравнения определяются путем построения единичной и грузовой эпюр и их последующего перемножения [5, с. 280]. После нахождения по формуле (19) реакций для горизонтальной и вертикальной плоскостей определяется суммарная радиальная реакция, возникающая в месте установки сферического подшипника качения, аналогично формуле (8).

Частота вращения внутреннего кольца при расчете ресурса сферического подшипника принимается равной разности частот вращения ведущего и ведомого валов.

Выполним расчет реакций в опорах узлов планетарной торовой винтовой передачи при следующих исходных параметрах передачи: передаточное число – 37; количество составных роликов – 7 с двумя пальцами каждый (пальцы имеют сферическую поверхность радиусом 6 мм); радиус поверхности, на которой расположены центры вращения составных роликов, – 25 мм; диаметр составного ролика – 55 мм; вращающий момент на ведомом валу – 100 Н·м; силы, действующие на составной ролик, – $N_1 = 267 \text{ Н}$, $N_3 = 803 \text{ Н}$ (определены на базе разработанной математической модели [4]).

Соотношение реакций для подшипников качения узлов передачи с принятыми параметрами приведено на рисунке 6.



R – радиальная реакция; H – горизонтальная реакция;
4 – составной ролик; 2 – ведомый вал; 1 – ведущий вал; 12 – сферический подшипник

Рисунок 6. – Диаграмма соотношения нагружения подшипников узлов передачи

Заключение. Для планетарной торовой винтовой передачи предложена схема установки подшипниковых опор и разработан алгоритм расчета нагрузок, действующих на эти опоры. Полученные зависимости позволяют выполнить подбор подшипников для узлов передачи по динамической грузоподъемности. Также предложена конструкция и выведены зависимости для расчета подшипника скольжения для составного ролика.

Анализ соотношения реакций в опорах узлов для планетарной торовой винтовой передачи с принятыми параметрами показывает, что наибольшая нагрузка на подшипник возникает на ведомом валу, при этом на ведущий вал она в 1,8 раза меньше (как радиальная, так и горизонтальная), чем на ведомый. Нагрузка на подшипники составного ролика в 4,3 раза меньше, чем на ведомом валу, причем радиальная нагрузка по величине незначительно больше осевой. Сферический подшипник практически не нагружен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prudnikov, A.P. Planetary torus helical transmission / A.P. Prudnikov // International Conference on Mechanical Engineering and Modern Technologies. – 2020. – Vol. 795. – P. 1–6.
2. Прудников, А.П. Силовой и прочностной анализ передачи с фиксированным расположением промежуточных тел качения / А.П. Прудников, А.Д. Бодунова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 3 (68). – С. 86–96.
3. Иванов, М.Н. Детали машин : учеб. / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – М. : Абрис, 2013. – 408 с.
4. Прудников, А.П. Определение действующих сил в планетарной торовой винтовой передаче / А.П. Прудников // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 68.
5. Яровая, А.В. Строительная механика. Статика стержневых систем : учеб. пособие / А.В. Яровая. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 447 с.

Поступила 18.03.2021

SELECTION AND CALCULATION OF BEARING UNITS FOR THE PLANETARY TORUS HELICAL TRANSMISSION

A. PRUDNIKOV, A. BODUNOVA

The paper presents a diagram of the installation of bearing supports in the planetary torus helical transmission and an algorithm for calculating the loads acting on these supports is developed. The obtained dependencies make it possible to select bearings for transmission in terms of dynamic load capacity. A design is proposed and dependencies are derived for calculating sleeve bearings for a composite roller. The analysis of the ratio of reactions in the bearings of the transmission units is carried out, which makes it possible to establish the type and degree of loading of the supports of the planetary torus helical transmission.

Keywords: mechanical transmission, intermediate rolling bodies, composite roller, bearing unit.

ТРАНСПОРТ

УДК 621.793

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ГИПЕРЗВУКОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. **Ф.И. ПАНТЕЛЕЕНКО**,
(Белорусский национальный технический университет, Минск),

М.Н. КАРПЕЦ

(ОАО «Беларуськалий», Солигорск),

д-р техн. наук, доц. **М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ**, канд. техн. наук **А.В. СОСНОВСКИЙ**
(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск)

Исследовано влияние параметров режима гиперзвуковой металлизации (диаметра проволоки, силы тока и скорости подачи проволоки) на прочность сцепления, пористость и шероховатость металлических коррозионностойких покрытий. Установлено, что напыление покрытий из проволоки марки ER316LSi Ø 1,2 мм на силе тока выше оптимальной уменьшает прочность сцепления покрытий за счет возникновения чрезмерных остаточных напряжений, увеличивает пористость и уменьшает шероховатость покрытий. При использовании проволоки данной марки Ø1,6 мм в покрытии увеличивается пористость и содержание оксидов.

Ключевые слова: гиперзвуковая металлизация, металлические покрытия, адгезия покрытий, испытания покрытий.

Введение. В различных отраслях промышленности для восстановления и упрочнения деталей машин широко применяется газотермическое нанесение покрытий. Одной из наиболее важных эксплуатационных характеристик покрытий является прочность сцепления покрытий с основным металлом. На показатели прочности сцепления покрытий с основой, как правило, оказывают влияние различные факторы, в т.ч. связанные с технологией нанесения покрытий. Известны различные методы газотермического нанесения покрытий, имеющие свои преимущества и недостатки. С экономической точки зрения предпочтительным методом нанесения металлических покрытий является гиперзвуковая металлизация (ГМ). ГМ позволяет наносить высокоплотные металлические покрытия различного назначения, используя при этом в качестве присадочного материала проволоочные электроды [1–3], что значительно дешевле по сравнению с порошками. В процессе ГМ распыление жидкого металла, образующегося в результате теплового воздействия электрической дуги на торцы двух проволоочных электродов, производится струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси. При этом скорость струи на выходе из сопла достигает 1500 м/с при температуре 2200 К, а скорость полета распыляемых частиц, формирующих покрытие, – около 500 м/с [4].

Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния параметров режимов напыления (диаметра проволоки, силы тока и скорости подачи проволоки) на прочность сцепления, пористость и шероховатость металлических коррозионностойких покрытий.

Основная часть. Для проведения исследований напыление покрытий выполнялось методом ГМ на установке АДМ-10. В качестве источника питания использовали сварочный полуавтомат ESAB Warrior 500i. Для определения влияния диаметра проволоки на шероховатость, пористость и прочность сцепления покрытий сварочную проволоку марки ER316LSi (таблица 1) Ø1,2 мм и Ø1,6 мм напыляли на пластины из низкоуглеродистой стали марки Ст3 размерами 80x40x5 мм (образцы № 1.2п, № 1.6п) и образцы-штифты из низкоуглеродистой стали марки Ст3 (образцы № 2ш, №5ш). Для определения влияния силы тока и скорости подачи проволоки на пористость, шероховатость и прочность сцепления покрытий сварочную проволоку марки ER316LSi Ø1,2 мм на различных режимах напыляли на образцы-штифты из низкоуглеродистой стали марки Ст3 (образцы №№ 1ш–4ш). В установке АДМ-10 присутствует взаимосвязь между установленной силой тока и скоростью подачи проволоки, поэтому в работе рассматривается влияние изменения силы тока, которая автоматически корректируется сварочным полуавтоматом пропорционально изменению скорости подачи проволоки.

Для активации поверхности перед нанесением покрытий рабочая поверхность образцов подвергалась абразивно-струйной обработке смесью, состоящей из корунда (~50%) фракцией 1,8 мм и колотой дроби (~50%) фракцией 1,2 мм, при рабочем давлении сжатого воздуха 0,6 МПа и расходе воздуха 3 м³/мин. Для проведения исследований напыление покрытий выполнялось на параметрах режима, указанных в таблице 2.

Покрытия наносили в два–три слоя. Толщина покрытий – от 0,4 до 0,8 мм. Температура нагрева образцов после напыления – 100–150 °С.

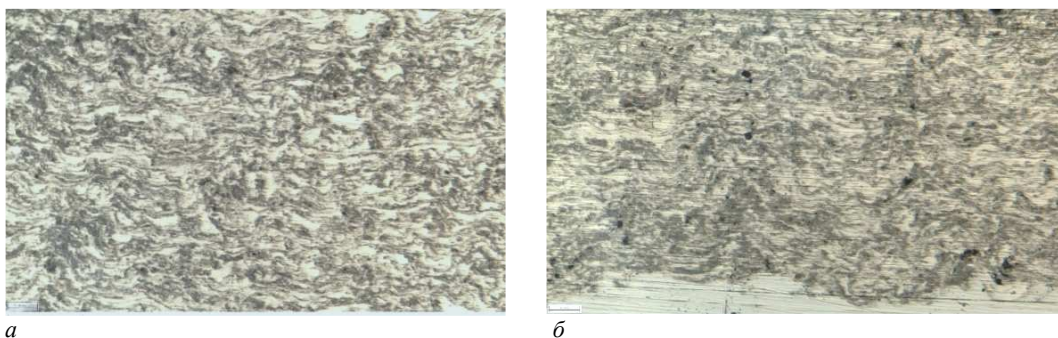
Таблица 1. – Химический состав применяемой проволоки [5]

Марка проволоки	Массовая доля химических элементов, %								
	Mo	Mn	Cu	C	Si	Ni	Cr	Ti	Al
ER316LSi	2,60	1,80	0,12	0,01	0,9	12,2	18,4	–	–

Таблица 2. – Параметры режима ГМ

№ образца	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/мин	Давление сжатого воздуха, МПа	Давление пропан-бутановой смеси, МПа
1ш	1,2	117–120 (1-й слой)	32	4,6	0,4	0,4
2ш, 1.2п		123–125	32,2	4,6	0,4	0,4
3ш		130–140	32,2	5,75	0,4	0,4
4ш		160–170	32	7,1	0,4	0,4
5ш, 1.6п	1,6	123–125	32	2,3	0,4	0,4

Металлографические исследования. Металлографические исследования на предмет пористости покрытий выполнялись с применением микроскопа МИ-1. Для получения и анализа изображений, подсчета пористости применялось программное обеспечение SIAMS 800. Травление образцов не выполнялось. Общая пористость определялась с помощью программы SIAMS 800 путем соотношения суммарной площади пор, обнаруженных на анализируемом участке покрытия, к проанализированной площади участка покрытия. По результатам исследования влияния диаметра проволоки на пористость покрытий было определено, что общая пористость покрытий в образце № 1.2п составляет до 0,6%, в образце № 1.6 – до 1,25%, частицы в покрытии образцов №№ 1.2п и 1.6п имеют сильно деформированную форму (рисунок 1). Кроме того, в образце № 1.6п просматривается большее содержание оксидов, чем в образце № 1.2п. Большее значение общей пористости и оксидов в образце № 1.6п можно объяснить увеличенным размером расплавленных капель металла за счет применения проволоки большего диаметра.



а – образец № 1.2п; б – образец № 1.6п

Рисунок 1. – Микроструктура образцов, увеличение x200

По результатам исследования влияния силы тока и скорости подачи проволоки на пористость покрытий было определено, что с увеличением силы тока от 117 до 125 А общая пористость не изменяется и составляет до 0,59%, максимальный размер пор не изменяется и составляет до 10 мкм, количество пор не изменяется. С увеличением силы тока от 125 до 140 А общая пористость увеличивается с 0,59 до 1,05%, максимальный размер пор увеличивается с 10 до 20 мкм (рисунок 2), при этом количество пор уменьшается.

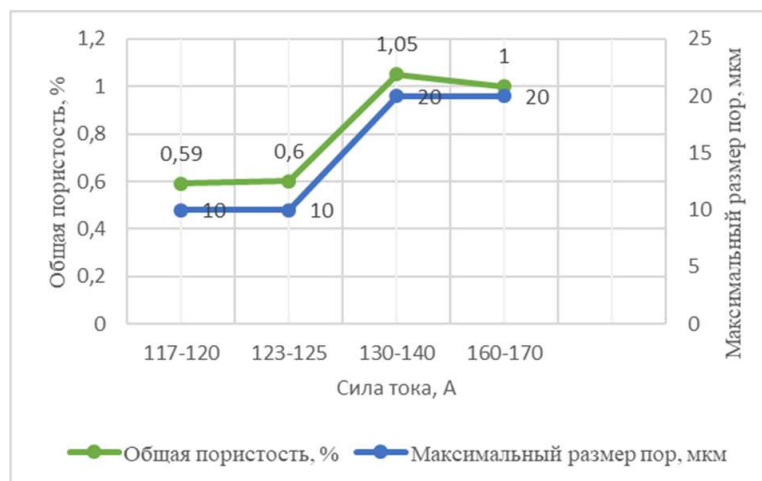
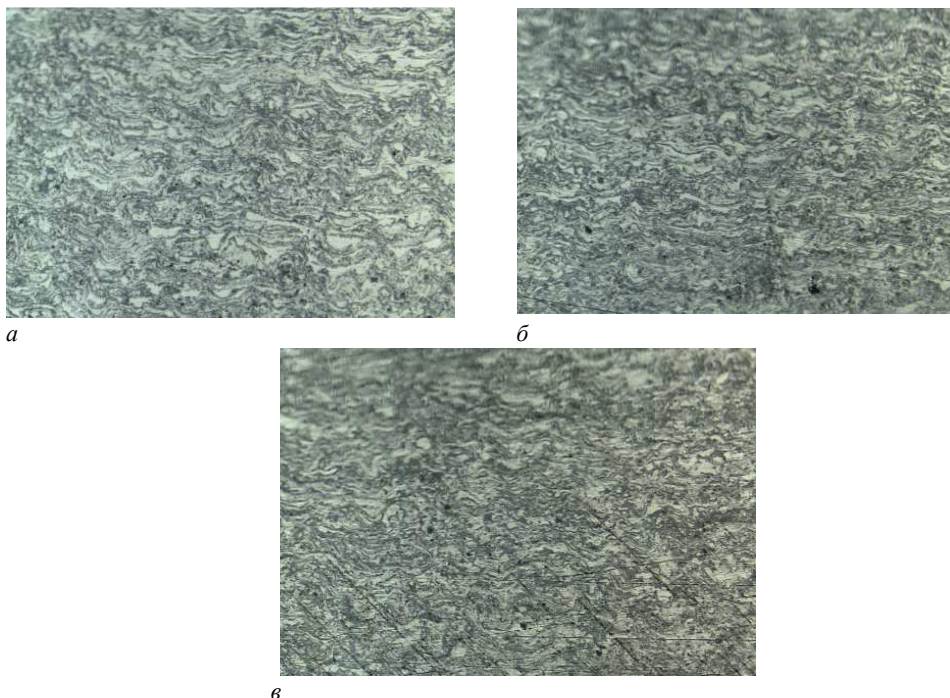


Рисунок 2. – Анализ пористости покрытий

С увеличением силы тока от 140 до 170 А общая пористость практически не изменяется и находится в пределах до 1,0%, максимальный размер пор не изменяется и составляет до 20 мкм, количество пор не изменяется. С увеличением силы тока от 117 до 170 А в структуре покрытий было замечено увеличение содержания оксидов (рисунок 3).

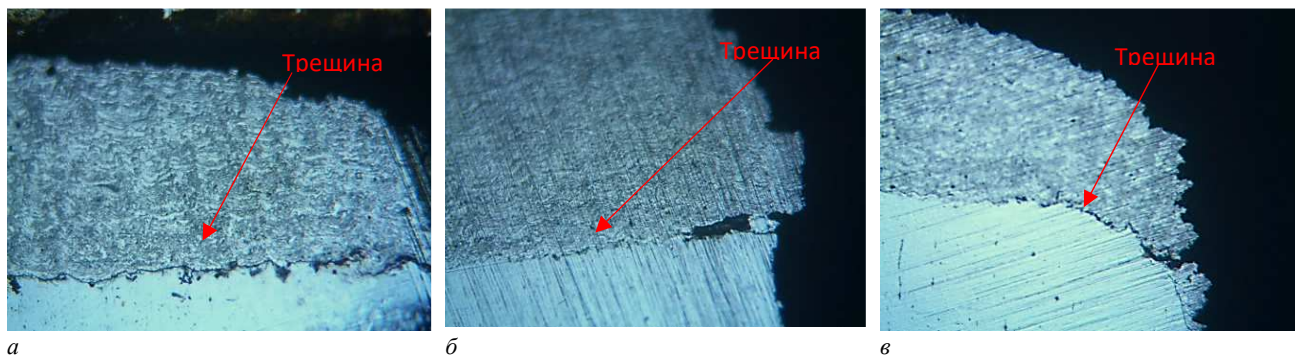


а – 117-130А; *б* – 130-140А; *в* – 160-170А

Рисунок 3. – Микроструктура образцов, увеличение $\times 100$

С целью изучения границы покрытие–основа образцов, напыленных с применением проволоки $\varnothing 1,2$ мм, были проведены металлографические исследования образцов №№ 1ш–4ш. Металлографические исследования выполняли с применением микроскопа «Альтами МЕТ П». Для анализа изображений применялось программное обеспечение Altami Studio. Травление образцов не выполнялось.

По результатам металлографических исследований границы покрытие–основа в образце № 1ш, в периферийной его части, было обнаружено отслоение покрытия на длине до 2,6 мм, что составляет не более 10% всей длины границы покрытие–основа (рисунок 4, *а*). Тем не менее, по результатам испытаний прочность сцепления образца № 1ш оказалась максимальной. В образце № 2ш (рисунок 4, *б*) и образце № 3ш (рисунок 4, *в*), в периферийной их части, было обнаружено отслоение покрытия на длине до 1 мм, что составляет не более 5% всей длины границы покрытие–основа.

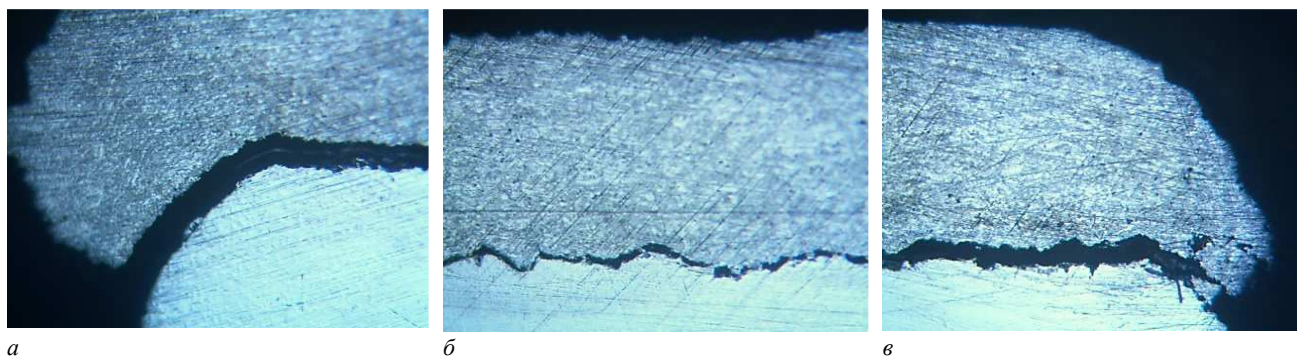


а – образец № 1ш; *б* – образец № 2ш; *в* – образец № 3ш

Рисунок 4. – Отрыв покрытия в образцах

В образце № 4ш было обнаружено отслоение покрытия практически по всей длине границы покрытие–основа (рисунок 5). Кроме того, на поверхности двух образцов из пяти напыленных на силе тока 160–170 А было визуально обнаружено отслоение покрытия по периферийной области.

Ширина раскрытия всех обнаруженных трещин (отслоений) между покрытием и основой уменьшается к центру, что свидетельствует об образовании трещин за счет краевого эффекта при образовании чрезмерных остаточных напряжений [6].



а, в – краевые участки образца; б – участок ближе к центру образца

Рисунок 5. – Отрыв покрытия в образце № 4ш

Измерение шероховатости. Для определения влияния режимов ГМ на шероховатость покрытий напыление выполнялось на параметрах режима, указанных в таблице 2. После напыления было произведено измерение шероховатости покрытий с применением профилометра MarSurf PS10, погрешность измерения 5%. Измерения выполняли в пяти направлениях относительно центральной оси образца. Значения шероховатости покрытий из проволоки диаметром 1,2 мм представлены на рисунке 6.

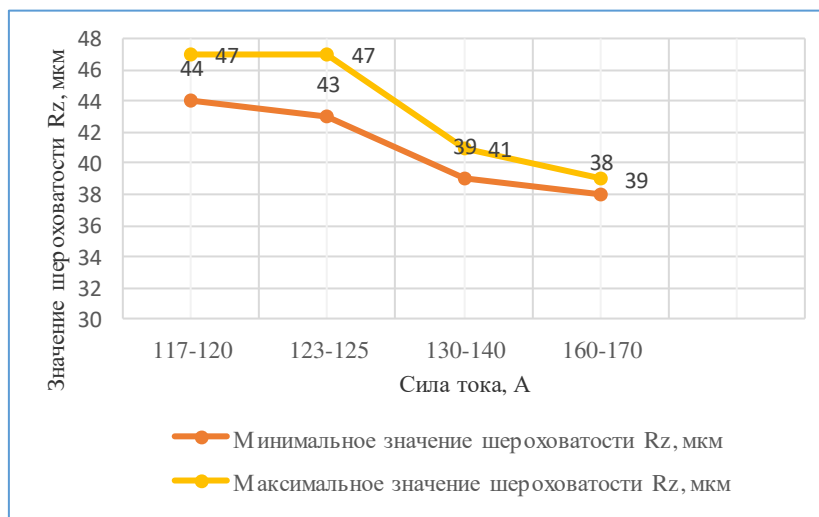


Рисунок 6. – Шероховатость покрытий из проволоки Ø1,2 мм

По результатам измерения шероховатости покрытий было определено, что с увеличением силы тока при применении проволоки Ø1,2 мм шероховатость покрытий уменьшается. Значение шероховатости покрытия, нанесенного с применением проволоки Ø1,6 мм, составило Rz 39–42 мкм.

Механические испытания. Испытание прочности сцепления покрытий выполнялось на разрывной машине KASON WDW-50 (максимальная разрывная нагрузка 50 кН, погрешность измерений $\pm 0,5\%$). Испытаниям подвергали серию из пяти образцов для каждого случая. За результат принимали среднеарифметическое значение. После напыления минимальная толщина покрытий на образцах составляла 0,4 мм, что является достаточным для оценки прочности сцепления покрытия с основой, используя штифтовой метод [7]. Для обеспечения соосности при приложении нагрузки применялось центрирующее шарнирное приспособление. Результаты прочности сцепления покрытий представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Характеристики покрытий

№ образца	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Толщина покрытия, мм	Количество слоев (толщина слоя, мм)	Прочность сцепления, МПа	Шероховатость Rz, мкм	Общая пористость, %
1ш	1,2	117–120 (1-й слой)	0,7–0,8	3 (0,2+0,3+0,2)	27,34	44–47	0,59
2ш		130 (2–3-й слой)					
3ш		123–125					
4ш		130–140					
5ш	1,6	160–170	0,6–0,8	2 (0,4+0,2)	20,64	38–39	1,0
		123–125	0,4–0,6	2 (0,2+0,2)	24,20	39–42	1,25

По результатам испытаний прочности сцепления покрытий из проволоки Ø1,2 мм, нанесенных на разных режимах, была обнаружена зависимость уменьшения прочности сцепления покрытий при увеличении силы тока (рисунок 7).

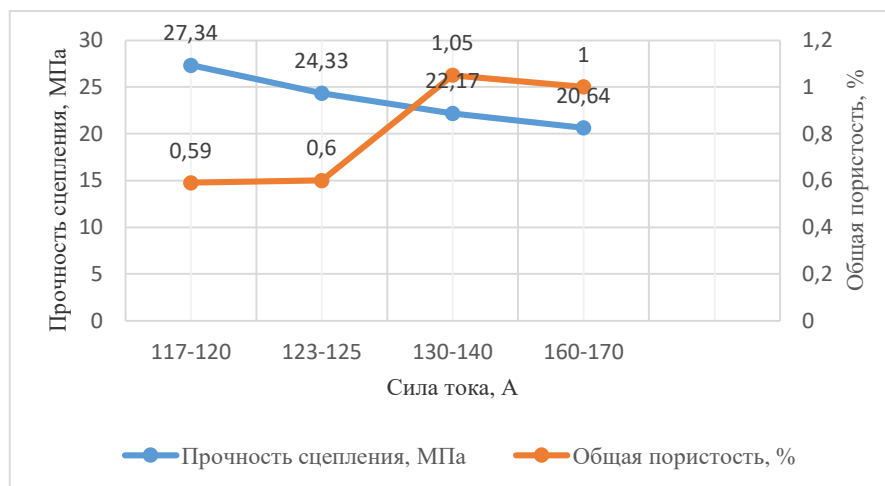


Рисунок 7. – Прочность сцепления покрытий

Как правило, повышение пористости покрытия снижает его когезионную прочность, поскольку поры – это участки с практически нулевой прочностью. Учитывая то, что в случае разрушения исследуемых образцов с покрытиями отрыв покрытия в основном происходил по границе покрытия с основой, т.е. преобладало адгезионное разрушение, поры не оказали существенного влияния на прочность сцепления покрытия с основой. Подтверждением этому является практически одинаковая прочность сцепления и различное значение пористости покрытий из проволок Ø1,2 мм и Ø1,6, нанесенных на одинаковой силе тока (123–125 А).

Известно, что увеличение силы тока приводит к увеличению тепловложения в расплавленные капли, которые в свою очередь попадая на основу, увеличивают температуру на границе покрытие–основа. При этом увеличивается скорость физико-химического взаимодействия, что приводит к повышению прочности сцепления. Однако расчеты согласно [8] показали, что подогрев основы приводит к увеличению остаточных напряжений в покрытии, которые могут понизить прочность сцепления. В полученных при испытаниях результатах уменьшение прочности сцепления при увеличении силы тока вероятнее всего объясняется увеличением остаточных напряжений, связанных с усадкой слоев покрытия. При этом увеличение толщины каждого слоя приводит к увеличению остаточных напряжений в покрытии. Таким образом, с целью предотвращения образования остаточных напряжений в покрытии целесообразно выполнять напыление слоями, не превышающими 0,2 мм, на оптимальных режимах процесса.

Заключение. По результатам проведенных исследований установлено, что подбор оптимальных режимов напыления покрытий является немаловажным фактором, влияющим на прочность сцепления, пористость и шероховатость покрытий. При замене трансформаторного источника питания на инверторный использование проволок различных диаметров и марок, а также при других изменениях в технологии ГМ требуется корректировка режимов процесса. При использовании высоколегированной проволоки марки ER316LSi Ø1,2 мм рекомендуется применять силу тока в диапазоне 117–130 А. При этом по мере увеличения силы тока в указанном диапазоне наблюдается некоторое снижение прочности сцепления покрытий с 27,34 до 22,17 МПа, шероховатости – с 44–47 до 41–39 мкм, повышение пористости – с 0,59 до 1,05%. Учитывая то, что при увеличении толщины каждого слоя, получаемого за один проход, происходит увеличение остаточных напряжений в покрытии, целесообразно выполнять напыление слоями, не превышающими 0,2 мм, с охлаждением предыдущего слоя до оптимальной температуры. Помимо этого, для плоских деталей, в зависимости от габаритов изделия и тол-

щины покрытия, необходимо останавливать процесс напыления при достижении температуры напыляемой поверхности 60–100 °С. При напылении цилиндрических деталей допустимую температуру нагрева покрытия можно определять исходя из расчетов, представленных в работе [9]. С целью недопущения образования отслоений покрытия на плоских изделиях за счет краевого эффекта необходимо выполнять фаску на кромке изделия или дополнительную канавку на краю изделия. Установлено, что нанесение покрытий из проволоки ER316LSi Ø1,2 мм на силу тока, выше оптимальной, уменьшает прочность сцепления покрытий за счет возникновения чрезмерных остаточных напряжений, увеличивает пористость и уменьшает шероховатость покрытий. При использовании высоколегированной проволоки марки ER316LSi Ø1,6 мм необходимо учитывать тот факт, что покрытие из нее будет иметь большую пористость и большее содержание оксидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство для высокоскоростного напыления покрытий (варианты) : МПК7 B05B7/20 / М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко, А.Е. Черепко ; дата публ.: 30.03.02.
2. Сравнительный анализ физико-механических свойств покрытий, нанесенных способами электродуговой и гиперзвуковой металлизации / Ф.И. Пантелеенко [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – № 4 (49). – С. 48–54.
3. Исследование коррозионной стойкости покрытий, полученных методом гиперзвуковой металлизации из высоколегированных проволоочных материалов, в контакте с агрессивными средами, используемыми при производстве калийных удобрений / Ф.И. Пантелеенко [и др.] // Гор. механика и машиностроение. – 2020. – № 3. – С. 76–85.
4. Способ гиперзвуковой металлизации и устройство для его осуществления : МПК B05B7/18, B05B7/22 / М.А. Белоцерковский, А.А. Дюжев, А.С. Прядко, А.Е. Черепко, В.А. Скворцов, А.В. Сосновский ; дата публ.: 31.10.2016.
5. Компания ESAB [Электронный ресурс] // Продукция и решения. – 2019. – Режим доступа: <https://www.esab.ru/ru/ru/products/filler-metals/mig-mag-wires-gmaw/stainless-steel-wires/ok-autrod-316lsi.cfm>. – Дата доступа: 29.09.2019.
6. Коробов, Ю.С. Анализ свойств газотермических покрытий : в 2 ч. / Ю.С. Коробов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – Ч. 2 : Оценка параметров покрытий. – 92 с.
7. Методы исследования материалов. Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий / Л.И. Тушинский [и др.]. – М. : Мир, 2004. – 384 с.
8. Куприянов, И.Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления / И.Л. Куприянов, М.А. Геллер. – Минск : Навука і тэхніка, 1990. – 176 с.
9. Оценка допустимых температур нагрева цилиндрических деталей при напылении металлических покрытий методом гиперзвуковой металлизации с использованием газа МАФ / М.А. Белоцерковский [и др.] // Вестн. Полоц. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 130–135.

Поступила 18.03.2021

INFLUENCE OF HYPERSONIC METALLIZATION MODES ON THE ADHESION STRENGTH OF METAL COATINGS

F. PANTELEENKO, M. KARPETS, M. BELOTSEKOVSKY, A. SOSNOVSKY

The influence of the parameters of the hypersonic metallization mode (wire diameter, current strength and wire feed speed) on the adhesion strength, porosity and roughness of metal corrosion-resistant coatings has been investigated. It was found that the spraying of coatings made of ER316LSi Ø 1.2 mm wire at a current strength higher than the optimal one reduces the adhesion strength of the coatings due to the occurrence of excessive residual stresses, increases the porosity and reduces the roughness of the coatings. When using this type of wire Ø 1.6 mm, the porosity and oxide content increases in the coating.

Keywords: hypersonic metallization, metal coatings, coating adhesion, coating testing.

УДК 656

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВИДЕОКОНТРОЛЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

д-р техн. наук, доц. Д.В. КАПСКИЙ, Д.В. ЛЕВАНОВИЧ
(Белорусский национальный технический университет, Минск),
канд. техн. наук, доц. Т.В. ВИГЕРИНА
(Полоцкий государственный университет),
д-р техн. наук, проф. А.К. ГОЛОВНИЧ
(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)

Приведены исторические сведения по созданию и использованию устройств для контроля скорости движения транспортных средств. Установлено влияние скорости движения на его безопасность. Описаны средства видеоконтроля с их характеристикой и особенностями применения. Рассмотрены используемые в Республике Беларусь комплексы для контроля за соблюдением водителями ТС скоростных ограничений (мгновенной скорости) в автоматическом режиме. Дана оценка правонарушений, связанных с нарушениями скоростных ограничений, и предложены меры по минимизации их количества.

Ключевые слова: транспортное средство, скорость движения, ограничения, контроль.

Введение. Динамичное развитие городов Республики Беларусь обуславливает интенсивный рост количества транспортных средств и повышение требований к качеству транспортного обслуживания. Прирост транспорта только в Минске за 2019 г. составил 2,04%. Разработан ряд современных технических решений по мониторингу и управлению дорожным движением, основой которых являются автоматическая система управления дорожным движением (АСУДД) и система видеонаблюдения. Необходимы развитие и интеграции указанных систем с целью их преобразования в комплексную интеллектуальную транспортную систему, обеспечивающую не только наблюдение за дорожным движением и централизованную корректировку работы светофорных объектов, но и автоматизированное управление дорожным движением и автоматический контроль за соблюдением большого количества правил дорожного движения (ПДД). Информационной основой подобной системы являются детекторы транспорта, поставляющие вычислительному комплексу сведения для выработки оптимальных режимов работы светофорных объектов, а также сообщений для динамических табло и управляемых дорожных знаков.

Рост интенсивности движения транспортных средств приводит к неизбежному увеличению нарушений водителями ПДД. Установка камер автоматической фиксации является одним из способов контроля соблюдения скоростных ограничений (мгновенной скорости) на всей территории Республики Беларусь. Выработка оптимальных решений должна опираться на использование имеющихся приборов в условиях, максимально приближенных к реальным (пилотные зоны опытной эксплуатации), и производиться с учетом специфики тактико-технических и экономических характеристик средств детектирования и фото- и видеофиксации нарушений ПДД, имеющихся в настоящее время на мировом рынке.

Цель работы – создание тестовых площадок апробирования технических средств, систем и решений автоматического контроля правонарушений и детектирования дорожного движения в городах, анализ их эффективности и возможности практического применения на улично-дорожной сети (УДС).

Основная часть. За 12 месяцев 2020 г. только на территории Минска зарегистрирован рост числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с пострадавшими на 0,2% (590, 2019 – 589) в сравнении с аналогичным периодом 2019 г., количество травмированных в ДТП граждан снизилось на 0,8% (628, 2019 – 633), количество погибших в результате ДТП уменьшилось на 6,1% (31, 2019 – 33), а количество ДТП, совершенных по вине водителей в состоянии опьянения, сократилось на 15,8% (16, 2019 – 19). Причинами совершения ДТП в 2020 г. стали:

- нарушения водителями правил проезда пешеходных переходов – 23,2% (+3,0% к 2019 г.);
- нарушение правил проезда перекрестков – 12,0% (+2,9% к 2019 г.) и неподчинение сигналам светофора – 5,6% (+27,6% к 2019 г.);
- нарушение правил маневрирования – 11,1% (–22,6% к 2019 г.);
- неправильный выбор водителями скорости движения автомобиля – 13,6% (+21,2% к 2019 г.);
- несоблюдение безопасной дистанции между движущимися транспортными средствами – 8,3% (–27,9% к 2019 г.).

С момента создания совместного закрытого акционерного общества (СЗАО) «Безопасные дороги Беларуси» и реализации на территории Республики Беларусь инвестиционного проекта по созданию и эксплуатации единой системы фотофиксации нарушений скоростного режима (2011 г.) количество ДТП резко пошло на снижение (рисунок 1).

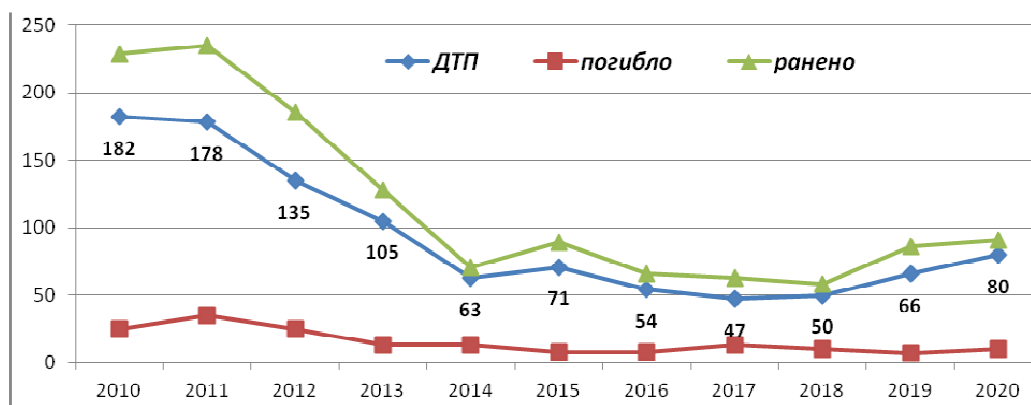


Рисунок 1. – Изменение количества пострадавших и погибших в ДТП, произошедших по причине нарушения скоростных ограничений

Различные виды нарушений ПДД (движение по полосе общественного транспорта, проезд на запрещающий сигнал светофора, превышение скорости движения, правил остановки и стоянки транспортных средств) требуют индивидуального подхода к применению способов и средств их фото- и видеофиксации. Фото- и видеофиксация в автоматическом режиме нарушений ПДД (кроме фиксации мгновенной скорости движения и правил остановки и стоянки) в Республике Беларусь до настоящего времени не производилась.

Оптимизация транспортных потоков путем управления движением по всей дорожной сети позволит существенно увеличить пропускную способность дорог, улучшить экологическое состояние городов, уменьшить количество ДТП, заторов, увеличить срок службы автомобилей. Для организации регулирования дорожного движения необходимо оценить параметры транспортного потока во всей зоне контроля, обеспечить передачу информации в центры управления и формирование команд координированного управления.

Одним из основных элементов информационно-измерительной системы управления дорожным движением является детектор транспортных средств, обеспечивающий оценку параметров транспортного потока. По состоянию на начало 2021 г. только в Минске насчитывается 824 светофорных объекта, из них 637 находятся на связи с ЦУП АСУДД. К настоящему времени в Минске детекторы транспорта установлены на 91 регулируемом перекрестке. Тем не менее, этого количества недостаточно для информационного обслуживания УДС города и реализации адаптивных алгоритмов управления на тактическом и стратегическом уровнях.

Одним из наиболее перспективных направлений в разработке детекторов транспортных средств, которое обеспечивает высокие технико-экономические показатели, является использование радиолокационных устройств. Радиолокационные детекторы относятся к детекторам третьего поколения, они стали доступными на белорусском рынке только в последнее время. Высокая стоимость этого оборудования, а также потребность в адаптации программных средств управления, настройки и передачи данных ограничивали возможность использования этих детекторов для создания систем управления дорожным движением.

Автоматический контроль скорости. Первые радары, фиксирующие скорость транспортных средств, появились на улицах Лондона в 1958 г. В это же время появились видеокамеры, позволяющие определить скорость движения автомобиля, причем их изобретателем является раллийный чемпион Морис Гетсонидес. Зная частоту сигналов камеры, т.е. временной промежуток между фотографированием, Гетсонидес рассчитывал скорость движения своего болида на тренировках. Именно с производством этого устройства началась история голландской компании GATSOmeter BV, которая является крупнейшим производителем популярных во всем мире камер контроля скорости.

Первые радары, способные обнаружить двигающийся объект и даже определить его скорость, изобрел в 1932 г. советский ученый Павел Ощепков. Правда, он предлагал использовать эффект отражения радиоволн для поиска летящих самолетов, что и было экспериментально доказано. Радары для контроля скорости движения автомобилей стали применяться в США, в штатах Мичиган и Индиана, еще в 1954 г. Эти радары были громоздкими и зачастую стационарными. Лишь после того, как американская фирма Radatron Tonawanda освоила выпуск минирадаров, ими стала пользоваться практически вся дорожная полиция. Радары работали на частоте 2,455 ГГц, а расстояние, меньше которого контроль считался достоверным, составляло два километра.

Первые радары в СССР появились в 1972 г. До 80-х годов прошлого века в ГАИ использовали радары со световым индикатором скорости «Фара». Лишь с появлением радара «Барьер» стало возможным измерение скорости автомобиля [1].

В последнее время в Европе активно внедряют системы контроля средней скорости движения автомобиля на магистралях. При этом система фиксирует номер автомобиля при входе на некоторый участок и второй раз – на выходе. Исходя из времени прохождения участка, рассчитывается средняя скорость движения автомобиля и назначается штраф в том случае, если средняя скорость превышает установленные ограничения. Приборы устанавливаются на расстоянии друг от друга 0,2–10 км (из опыта применения в России комплексов «Автодо-

рия»). Работа комплексов завязана на единый центр [2]. Применением контроля средней скорости движения транспортных средств покрывается гораздо больше участков магистралей при помощи меньшего количества оборудования.

На автострадах Италии скорость движения ограничивается большей частью значением 130 км/ч. Приложение «Tutor Autostrade» широко охватывает страну, база данных которого автоматически обновляется через Интернет и содержит в себе как систему «Tutor» (рисунок 2), так и систему «Vergilis» (в Италии разворачиваются несколько схожих систем контроля).



Рисунок 2. – Начало участка контроля средней скорости системой «Tutor» на автостраде в Италии

Более гибкое приложение «Tutor Tracker» дополнительно учитывает допустимую погрешность измерения скорости, которая по итальянским законам составляет 4%, т.е. до скорости 136 км/ч штраф водителю не выпишут, за превышения «+10 км/ч» (147 км/ч) минимальный штраф равен 48 €, следующая ставка – 79 €.

По данным Дирекции автомобильных дорог при Министерстве сообщений Литвы действовавшая в декабре 2017 г. в пробном режиме система замера скорости на 25 участках дорог регистрировала превышение средней скорости движения более чем у 1,6 млн проехавших транспортных средств (около 34% водителей). На контролируемых участках, где допустимая скорость была до 90 км/ч, в течение месяца зафиксировано почти 3 тыс. автомобилей, ехавших со скоростью более 130 км/ч. Превышение допустимой скорости (в среднем 192 км/ч) зафиксировано на дороге А7 между Мариямполе и Кибартай. Больше всего случаев нарушения установлено на дороге А9 «Панявежис – Шяуляй».

Внедряемые в 2018 г. во всей Литве радары средней скорости действуют круглосуточно и могут опознавать государственные регистрационные номера транспортных средств более 120 стран. В начале и конце контролируемого участка дороги оборудованы посты замера скорости, оснащенные видеокамерами, которые фиксируют государственные номера проезжающих машин, а также время въезда и выезда на участок, определяют среднюю скорость на этом участке. В каждом случае все данные о превышении допустимой скорости, необходимые для оформления этих фактов, автоматически передаются для дальнейшей обработки в центральную информационную систему.

Системы замера средней скорости действуют в Австрии, Испании, Италии, Великобритании, Нидерландах, Португалии, Франции, Финляндии, Швейцарии и других странах. В Великобритании такой способ замера скорости действует с 1999 г., в Австрии и Швейцарии – более 10 лет.

Страны, применяющие контроль средней скорости, указывают, что на контролируемых участках дороги это позволяет значительно снизить количество смертей – примерно на 80%. Швейцарские эксперты безопасности движения отмечают, что контроль за средней скоростью способствовал тому, что в 2017 г. Швейцария признана самой безопасной страной в Европе [3].

Фото- и видеофиксация правонарушений в Республике Беларусь. В соответствии с Концепцией обеспечения дорожной безопасности в Республике Беларусь [4] приоритетной целью перед ГАИ как органом, обеспечивающим безопасность дорожного движения, ставится создание условий для максимальной защищенности участников дорожного движения и сокращения числа погибших в ДТП [5].

Административные правонарушения в области БДД имеют широкое распространение, что обуславливает их значительную общественную опасность, под которой понимается «совокупность всех совершаемых в стране, регионе, населенном пункте деяний, признаваемых действующим законодательством административными пра-

вонарушениями» [6]. ГАИ использует различные специальные средства и технологии для пресечения нарушений ПДД.

В Республике Беларусь применяют камеры видео- и фотофиксации нарушений ПДД как стационарные, так и передвижные. Некоторые модели передвижных камер настолько мобильны, компактны и автономны, что могут использоваться в любом удобном месте, при этом незначительно уступая стационарным системам видеофиксации.

Современная система видеофиксации включает в себя три сопряженных между собой блока. Первый блок – это оптическое устройство (стереомикроскоп или микроскоп), формирующее изображение. Второй блок – блок передачи и хранения информации, включающий в себя видеокамеру, цифровую фотокамеру или сканер, подключенные к компьютеру. Тип решаемых задач, особенности обработки и форма представления результатов определяют третий блок системы – это электронно-вычислительная машина и установленное на ней программное обеспечение. При этом блоки должны быть согласованы между собой так, чтобы изображение, сформированное микроскопом или другим прибором, в процессе его передачи на компьютер и последующей обработки испытывало минимальные искажения [5].

Фото- и видеофиксация являются концептуально новым проектом в Республике Беларусь, направленным на достижение поставленной Концепцией цели.

Условия развития общества не позволяют обеспечить надлежащую дорожную безопасность одними лишь силами и возможностями ГАИ. Поэтому государство обеспечило и продолжает обеспечивать создание и функционирование организаций, учреждений и органов, деятельность которых направлена на своевременное предупреждение осложнений дорожной обстановки на территории республики. В настоящее время функционируют и обеспечивают в пределах своей компетенции различные структурные подразделения, рассмотрим компетенции отдельных из них.

Так, своевременное доведение в доступных формах до сведения физических и юридических лиц технических нормативных правовых актов в сфере дорожного движения и обеспечения его безопасности возлагается на республиканский орган государственного управления по стандартизации, метрологии и сертификации [7].

Комплексы фото- и видеофиксации являются территориально-распределенными, многоуровневыми, автоматизированными и вычислительными с централизованной обработкой данных, работающими круглосуточно. Их работа состоит из нескольких этапов:

- сбор информации о проезжающих транспортных средствах и совершаемых ими нарушениях ПДД. Результаты, зафиксированные комплексами, являются стандартной информацией – это наборы данных о транспортных средствах в момент фиксации административного правонарушения в зоне контроля средств фиксации превышения скоростного ограничения;

- передача информации в центр обработки данных;

- сбор и накопление данных, полученных в результате функционирования комплексов видеофиксации. Кроме того, эти данные проходят первичную обработку и за счет обращения к базам данных для розыска зарегистрированного автотранспорта;

- автоматический анализ информации, накопленной в базе данных, с целью выявления административных правонарушений, совершенных на транспортном средстве, комплексами фото- и видеофиксации. По зафиксированным нарушениям постановление о назначении штрафа распечатывается автоматически и отправляется владельцу транспортного средства;

- автоматизированный контроль оплаты выписанных штрафных квитанций. На данном этапе возможно произвести пересмотр и обжалование принятых ранее решений по нарушениям в области дорожного движения, зафиксированным с помощью комплексов фото- и видеофиксации.

В целях своевременного и качественного обеспечения деятельности современных комплексов фото- и видеофиксации на всех указанных этапах в Республике Беларусь созданы и функционируют специализированные подразделения Министерства внутренних дел и другие организации.

Так, в целях проектирования, строительства и эксплуатации Единой системы фото- и видеофиксации нарушений ПДД и мониторинга дорожной обстановки на территории Республики Беларусь в 2011 г. в рамках международного инвестиционного договора учреждено СЗАО «Безопасные дороги Беларуси». Его силами создан комплекс систем по фотофиксации нарушений скоростного режима, в рамках которого построен центр хранения и обработки данных. Были установлены 365 стационарных, 63 мобильных датчика контроля скорости и экспериментальные датчики нарушения других ПДД. СЗАО «Безопасные дороги Беларуси» является системным интегратором в областях проектирования и строительства систем автоматической фиксации нарушений ПДД, мониторинга дорожной обстановки и общественного порядка, охраны периметров специальных объектов с использованием в т.ч. сейсмо- и аудиодатчиков. Кроме функций системного интегратора данная организация имеет собственные разработки:

- программное обеспечение центра обработки и хранения данных;
- программное обеспечение по работе с базами данных «Пункт Контроля», «Уведомление» и «Оплата»;
- разработка собственного датчика контроля [8].

Администрация компании имеет шесть отделов (в которых работает 90 сотрудников): проектирования и развития; информационных технологий и коммуникаций; строительства и эксплуатации; обработки и хранения данных; пунктов контроля; уведомления и оплаты штрафов; транспорта и хозяйственного обеспечения.

Пункты контроля и оплаты (ПКО) СЗАО «Безопасные дороги Беларуси» предназначены для работы с иностранными водителями, нарушителями ПДД в режиме on-line. Программно-аппаратный комплекс ПКО автоматически распознает транспортное средство нарушителя и немедленно предоставляет информацию сотруднику ГАИ для его остановки.

Центр хранения и обработки данных по запросу в режиме реального времени предоставляет информацию о всех нарушениях, зафиксированных за данным автомобилем, на основании чего в автоматическом режиме готовится постановление по оплате штрафных санкций через терминалы, установленные на ПКО.

Непосредственным звеном в цепи функционирования комплексов фото- и видеофиксации и правового обеспечения административной ответственности участников дорожного движения, допустивших нарушение ПДД (скоростного ограничения), выступает отдел по обеспечению деятельности Единой системы фото- и видеофиксации нарушений скоростных режимов (далее – ЕСФНСР) МВД Республики Беларусь, созданного и функционирующего на основании приказа МВД Республики Беларусь № 291 от 19.08.2014 «Об утверждении Положения об отделе по обеспечению деятельности Единой системы фотофиксации нарушений скоростного режима МВД Республики Беларусь».

Основными задачами отдела по обеспечению деятельности ЕСФНСР являются:

- выполнение в пределах компетенции обязательств по инвестдоговору в части организации несения службы сотрудниками в центре фиксации правонарушений;
- координация служебной деятельности подразделений центрального аппарата МВД и ОВД по порядку ведения административного процесса в отношении лиц, привлеченных к административной ответственности за превышение установленной скорости движения и должностных лиц юридических лиц, своевременно не представивших сведения о лицах, управлявших транспортным средством, принадлежащим юридическому лицу, при фиксации превышения скорости движения;
- методическое обеспечение деятельности ОВД в части ведения административного процесса по фактам превышения скорости движения и организации несения службы сотрудниками ГАИ в ПКО, а также ведения административного процесса.

Рассмотрим используемые в Республике Беларусь комплексы для контроля за соблюдением водителями ТС скоростных ограничений (мгновенной скорости) в автоматическом режиме.

Комплекс измерения скорости транспортных средств «Кордон» – фоторадарный комплекс измерения скорости транспортных средств, предназначен для автоматического выявления нарушений скоростного режима с возможностью передачи данных по каналам связи на сервер ЦФП. Отличительная особенность комплекса «Кордон» – одновременный контроль на четырех полосах движения (рисунок 3).



Рисунок 3. – Фоторадарный комплекс «Кордон»

В состав комплекса «Кордон» входит следующее оборудование: фоторадарный блок; блок электропитания; комплект соединительных кабелей; устройство для крепления фоторадарного датчика.

Видеоархив и данные о зафиксированных нарушениях хранятся в памяти датчика и могут быть переданы в ЦФП по защищенным проводным или беспроводным каналам связи (Ethernet, GPRS, Wi-Fi) для последующей централизованной обработки. В случае технических неполадок (длительного отсутствия связи) возможна загрузка данных непосредственно с датчика с помощью программного обеспечения «Загрузчик данных» на промежуточный носитель.

Диапазон измеряемой скорости составляет от 20 до 250 км/ч. Погрешность измерения скорости – ± 2 км/ч. Количество контролируемых полос движения одним датчиком – до 4 полос (примерно 15 м). Количество целей, сохраняемых на карте памяти датчика (32 Гб), – не менее 80 000. Рабочая температура – от -40 °C до $+50$ °C. Средняя наработка на отказ – не менее 20 000 ч. Средний срок службы – не менее 6 лет. Вес устройства – не более 11,5 кг.

Система фотофиксации «Mesta 2000» (рисунок 4). Модельный ряд данной системы был разработан для измерения скорости движения всех типов транспортных средств. В настоящее время доступны две версии устройства данной модели:

- «Mesta 2000»: неподвижный компактный блок для установки на обочине дороги или шоссе;
- «Mesta 2200»: малогабаритный модульный блок, который может быть помещен на опору, эстакаду или мост.



Рисунок 4. – Измеритель скорости «Mesta 2000»

Также возможна установка муляжей, идентичных «Mesta 2000» и «Mesta 2200». В свою очередь муляж может быть заменен радарной системой на заранее подготовленном месте (возможность чередования мест установки) [9].

Сертифицированный диапазон рабочих температур – от -20 °C до $+80$ °C (но производитель сообщил, что специально для наших условий диапазон был расширен до -30 °C). Число полос движения доступных для мониторинга – до шести. Интерфейсы данных – IP-технологии, RJ-45. Возможность подключения – проводное, беспроводное, спутниковое или при помощи волоконно-оптических сетей, антивандальная защита.

Прибор имеет возможность интеграции с ANPR-модулем, позволяющим автоматически распознавать регистрационный знак, что может быть полезно при отслеживании автомобилей в угоне и когда автомобиль числится за гражданином, лишенным водительского удостоверения.

Автоматизированный комплекс «Multaradar SD 580» (рисунок 5) производит компания Jenoptikrobot GmbH (Германия). Радар можно видеть в больших мегаполисах, его обычно помещают на столбах, и по форме он напоминает скворечник с двумя отверстиями для камер. Высокоточная 11-мегапиксельная камера способна запечатлеть регистрационные знаки автомобилей и даже лицо водителя с расстояния до 1 км, а видеочасть делает запись в моменты до и после фиксации. Причем время срабатывания затвора фотокамеры составляет 10^{-5} с. Таким образом, могут фиксироваться такие нарушения ПДД, как парковка в запрещенном месте, выезд на встречную полосу движения, проезд на красный сигнал [10].

Информация с результатами измерений отображается на двух фотографиях; вторая, контрольная, фотография делается с временной задержкой, равной 0,5 с., в верхней строке которой представлена информация о скорости транспортного средства, направлении движения, времени и дате фотографии, номере полосы проезжей части, на которой находится транспортное средство.



Рисунок 5. – Автоматизированный комплекс «MultaradarSD580»

Подразделения ГАИ применяют также *приборный комплекс «Паркрайт»* [11] для автоматической фиксации нарушений правил остановки и стоянки автомобилей. Комплекс изготовлен в России и используется в подразделениях полиции России, Армении, Беларуси, Бразилии, Иордании, Казахстана и Молдовы.

Перед началом работы комплекс предварительно необходимо «обучить» – внести в него информацию об участках дороги и отметить, где запрещены стоянка и остановка. Подъезжая к месту установки знака, запрещающего стоянку или остановку, необходимо нажать кнопку «Записать начало зоны контроля». При выезде из данной зоны контроля оператор должен нажать кнопку «Записать конец зоны контроля». Полученные координаты сохраняются в системе. Таким же способом заносятся все остальные участки с запрещенной остановкой или стоянкой. При приближении патрульного автомобиля к началу запрещенного участка ранее «обученный» комплекс автоматически включает запись видео с обзорной камеры и начинает записывать информацию об автомобилях. При выезде с участка с запрещенной стоянкой и остановкой запись видео автоматически прекращается. Комплекс сохраняет в памяти все обнаруженные автомобили и их координаты в данной зоне запрета. При повторном проезде по такой зоне комплекс автоматически включает запись видео с обзорной камеры и вновь начинает записывать информацию об автомобилях. Если обнаружены автомобили с теми же государственными регистрационными знаками по тем же координатам, то они помечаются как «нарушители». Нарушители – транспортные средства, стоящие в указанной зоне дольше, чем разрешено ПДД. Комплекс можно перевести на режим ручного управления и фиксировать следующие виды нарушений ПДД: проезд на запрещающий сигнал светофора; стоянка на пешеходном переходе и остановках маршрутного транспорта; остановка на трамвайных путях, мостах и т.д.

Заключение. Исторические сведения подтверждают факты создания и использования устройств для контроля скорости движения транспортных средств в различных странах. Благодаря деятельности совместного закрытого акционерного общества «Безопасные дороги Беларуси» и реализации на территории Республики Беларусь инвестиционного проекта по созданию и дальнейшей эксплуатации единой системы фиксации нарушений скоростных ограничений получено существенное снижение ДТП. Описаны применяемые средства видеоконтроля с их характеристиками и особенностями применения. Дана оценка правонарушений, связанных с нарушениями скоростных ограничений, и предложены меры по минимизации их количества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шесть фактов об автомобильных радарх [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://svpressa.ru/post/article/80711/>. – Дата доступа: 22.12.2020.
2. Как измеряют скорость автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dddgazeta.ru/archive/2017_06/30946/. – Дата доступа: 22.12.2020.
3. Тестирование измерителей средней скорости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kurier.lt/testirovanie-izmeritelej-srednej-skorosti/>. – Дата доступа: 25.12.2020.
4. Об утверждении Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 14 июня 2006 г., № 757 – Режим доступа: [http://www.pravo.by/pdf/2006-94/2006-94\(021-026\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2006-94/2006-94(021-026).pdf). – Дата доступа: 21.11.2020.
5. Безопасность дорожного движения : сб. науч. тр. / МВД РФ ДОБДД, МВД РФ НИЦ БДД ; под ред. В.Д. Кондратьева. – М. : Юрист, 2009. – Вып. 10. – 153 с.

6. Бахрах, Д.Н. Административное право России : учеб. для вузов / Д.Н. Бахрах. – М. : Норма, 2000. – 640 с.
7. О мерах по повышению безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 28 нояб. 2005 г., № 551 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
8. СЗАО «Безопасные дороги Беларуси» официальный сайт [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://speed-control.by/index.php/ru/>. – Дата доступа: 12.11.2020.
9. Ищенко, Е.П. Криминалистическая фотография и видеозапись : учеб.-практ. пособие / П.П. Ищенко, Е.П. Ищенко ; под ред. Е.П. Ищенко. – М. : Юрист, 1999. – 438 с.
10. Измеритель скорости MultaRadar SD580 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metrologu.ru>. – Дата доступа: 12.11.2020.
11. Автомобильный комплекс «Паркрайт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.korda-group.ru/katalog/apk_avtouragan/avtomobil_nyj_kompleks_parkrajt/. – Дата доступа: 25.12.2020.

Поступила 16.06.2021

APPLICATION OF VIDEO TRAFFIC MONITORING METHODS: THEORETICAL AND PRACTICAL BASIS

D. KAPSKY, D. LEVANOVICH, T. VIGERINA, A. GOLOVNICH

Historical information on the creation and use of devices for controlling the speed of vehicles is given. The influence of the speed of movement on its safety has been established. The means of video monitoring with their characteristics and application features are described. The systems used in the Republic of Belarus for monitoring compliance by vehicle drivers with speed limits (instantaneous speed) in automatic mode are considered. An assessment of offenses related to violations of speed limits is given and measures are proposed to minimize their number.

Keywords: *vehicle, speed of movement, restrictions, control.*

УДК 656

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПО ВОПРОСАМ ФОТО- И ВИДЕОФИКСАЦИИ СКОРОСТНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЙ
В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ**

д-р техн. наук, доц. Д.В. КАПСКИЙ, Д.В. ЛЕВАНОВИЧ
(Белорусский национальный технический университет, Минск),
д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ
(Полоцкий государственный университет),
д-р техн. наук, проф. А.К. ГОЛОВНИЧ
(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)

Приведен анализ административного правонарушения с выделением его признаков и степени опасности. Определена виновность водителей и должностных лиц за превышение скорости движения транспортных средств. Предлагается предусмотреть возможность установления специальными техническими средствами не только факта превышения скорости на основе определения средней скорости движения транспортного средства на определенном участке с автоматическим ее расчетом, но и других административных правонарушений против безопасности движения и эксплуатации транспорта.

Ключевые слова: дорожное движение, безопасность, правонарушение, скоростное ограничение.

Введение. Административные правонарушения, связанные с превышением скорости движения транспортных средств, опасны не только своей распространенностью, но и возможностью перерастания в более серьезные общественно опасные деяния – преступления (нарушение скоростных ограничений, повлекшие ДТП с пострадавшими в них гражданами). В этих целях государство совершенствует законодательство об административной ответственности, систему органов, осуществляющих предупреждение, пресечение административных правонарушений и наказание нарушителей, создает условия для соблюдения административно-правовых запретов [1].

В соответствии со ст. 2.1 КоАП административным правонарушением признается противоправное виновное, а также характеризующееся иными признаками, предусмотренными КоАП, деяние (действие или бездействие), за которое установлена административная ответственность [2]. Анализ этого определения позволяет выделить общие признаки, присущие всем административным правонарушениям, отличающие их от правомерного поведения, а также от иных правонарушений (преступлений, дисциплинарных проступков, гражданско-правовых деликтов). К числу таких признаков следует отнести: общественную опасность; противоправность; наказуемость; виновность. Как правило, большинство этих признаков административного правонарушения признаются всеми учеными и трактуются одинаково, за исключением его основного элемента – общественной опасности.

Применительно к административным правонарушениям в области безопасности дорожного движения (БДД) следует отметить, что они обладают значительной общественной опасностью в силу того, что БДД является одним из важнейших элементов правопорядка и общественной безопасности. Так, в преамбуле к Закону Республики Беларусь «О дорожном движении» определены правовые и организационные основы дорожного движения в Республике Беларусь в целях охраны жизни и здоровья физических лиц, а также защиты прав, законных интересов и имущества физических и юридических лиц [3]. Общественная безопасность и правопорядок в области БДД являются одним из направлений реализации конституционных принципов, обеспечивающих безопасность граждан и защиту их прав собственности. Естественно, что посягательства на такой объект правовой охраны не могут быть незначительными. Таким образом, очевидно, что общественная опасность – важнейший элемент содержания административного правонарушения.

В сфере дорожного движения существует система норм, регламентирующих поведение участников движения и запрещающих определенное поведение. Каждый участник дорожного движения обязан соблюдать запреты, а ГАИ является компетентным органом, осуществляющим административно-правовую юрисдикцию в области БДД, обеспечивает исполнение этой обязанности [4].

Основная часть. Рассмотрим и проанализируем действующие правовые нормы, регулирующие ответственность за нарушения скоростных ограничений, зафиксированных в автоматическом режиме.

В соответствии со ст. 18.13 КоАП ответственность за превышение лицом, управляющим транспортным средством, установленной скорости движения от десяти до сорока и более километров в час, зафиксированное работающими в автоматическом режиме специальными техническими средствами, имеющими функции фото- и киносъемки, видеозаписи, влечет наложение штрафа в размере от пяти десятых до шести базовых величин [2].

Правовые отношения в сфере дорожного движения есть отношения между его участниками, регулируемые нормами права и состоящие из взаимной связи прав и юридических обязанностей субъектов. Обществен-

ную вредность происшествий следует рассматривать в связи с причинением реального вреда. В результате ДТП вред причиняется жизни, здоровью людей, природе, имуществу, обществу. Причинению вреда всегда предшествует аварийная обстановка, вызванная потерей водителем способности управления транспортным средством. Следовательно, аварийная обстановка является признаком объективной стороны правонарушения, который определяет его общественную вредность и раскрывает связь нарушения ПДД с причинением вреда.

В научной литературе понятие правонарушения рассматривается как социальное явление, порождаемое определенными социальными процессами. Социальная природа правонарушения заключается в той степени общественной опасности (вредности), которое оно содержит для устоев государства, поскольку нарушает его существование [5]. Эта предпосылка нашла свое конкретное теоретическое развитие при изучении понятия и социально-правовой природы правонарушения.

Дорожно-транспортное происшествие – особый специфический вид правонарушений. Выделяются особые признаки, которые отличают его от других правонарушений. Объектом транспортных правонарушений являются общественные отношения, которые обеспечивают охрану жизни и здоровья людей, материальных ценностей, окружающей природной среды, интересов безаварийной работы транспорта в целом. Последствиями этих правонарушений являются аварии, несчастные случаи, причиняющие серьезный вред жизни и здоровью людей, материальным ресурсам, обществу. В зависимости от конкретных вредных последствий, их тяжести решается вопрос об ответственности. В целях повышения эффективности применяемых норм, предусматривающих ответственность за совершение транспортных происшествий, правонарушения нужно подразделять на две большие группы: административные проступки в сфере безопасного функционирования транспорта (дорожно-транспортные проступки) и транспортные преступления. По всем своим показателям они ничем не отличаются друг от друга, кроме одного – значительностью последствий. Нередко степень тяжести зависит от случайных моментов. Общим признаком всех правонарушений является их общественная опасность (вредность). Преступления отличаются от других правонарушений количеством и характером общественной опасности.

Степень (количество) и характер (качество) общественной опасности находят свое выражение в характере нарушений правил безопасности, размере причиненного вреда, месте, времени, способе совершения правонарушений и т.д. На учет совокупности этих критериев ориентируется практика в процессе квалификации транспортных правонарушений как преступлений или проступков. Смерть или тяжкие телесные повреждения по действующему законодательству влекут за собой уголовную ответственность. В подобных ситуациях принимается во внимание, что уголовная ответственность за транспортные преступления наступает, в отличие от административной, как правило, не за сам факт нарушения правил, а за такое нарушение, которое повлекло за собой причинение реального и чаще всего значительного ущерба охраняемым общественным интересам. В этом и состоит более высокая степень общественной опасности транспортного преступления по сравнению с аналогичными дорожно-транспортными проступками. Вот почему она служит главным критерием разграничения этих двух видов правонарушений [6].

Другим обязательным признаком любого проступка, в т.ч. в сфере дорожного движения, является его противоправность. Она заключается в том, что административная ответственность наступает только за те нарушения (действия или бездействие), которые предусмотрены действующим законодательством. Административный проступок, как и всякое правонарушение в области дорожного движения, включает в себя следующие элементы: объект и объективная сторона, субъект и субъективная сторона.

Различают общий, родовый и непосредственный объекты правонарушения [7]. Общим объектом административного правонарушения является безопасность движения и эксплуатации транспорта, регулируемые административно-правовыми нормами. Анализ норм, предусматривающих применение мер административной ответственности за нарушение ПДД, свидетельствует о том, что они направлены на строжайшее соблюдение порядка дорожного движения, обеспечивающего нормальную, ритмичную и четкую работу автомобильного транспорта и тем самым создающего условия БДД. Следовательно, родовым объектом дорожно-транспортных правонарушений является порядок дорожного движения, безопасность его участников. Непосредственным объектом превышения скорости движения (ст. 18.13 КоАП) выступают безопасное движение транспортных средств, участников дорожного движения, нормальное функционирование пешеходных переходов, железнодорожных переездов и т.д.

К объективной стороне состава административного проступка в области дорожного движения относится противоправное деяние, которое заключается в нарушении правил, обеспечивающих безопасное функционирование транспортных средств, в отдельных случаях – прямо предусмотренные законом в связи с этим вредные последствия, а также причинная связь между нарушением ПДД и наступившими последствиями.

С объективной стороны признаки составов дорожно-транспортных правонарушений могут выражаться как в активных действиях (например, повреждение транспортных средств, управление транспортным средством в состоянии опьянения, угон транспортных средств), так и в бездействии, когда лицо не выполняет действий, прямо прописанных правовыми нормами к исполнению. К таким правонарушениям в сфере дорожного движения относятся: несоблюдение требований дорожных знаков, разметки проезжей части дорог, о предоставлении преимущества в движении, уклонение от прохождения освидетельствования на состояние опьянения, неподчинение пешеходов сигналам регулирования дорожного движения и др.

В соответствии со ст. 18.13 КоАП объектную сторону составляет противоправное деяние в форме активного действия, а именно: превышение лицом, управляющим транспортным средством, установленной скорости движения.

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 28 ноября 2005 г. № 551 «О мерах по повышению безопасности дорожного движения» при выборе скорости движения водитель должен учитывать ограничения скорости, установленные пунктами 88, 89 ПДД и техническими средствами организации дорожного движения, а также интенсивность движения, обзорность дороги, особенности и состояние транспортного средства и перевозимого им груза, дорожные, погодные (метеорологические) условия и другие факторы, снижающие прозрачность атмосферы и влияющие на видимость дороги в направлении движения [8]. При этом:

- в темное время суток и (или) при недостаточной видимости дороги скорость движения должна позволять водителю остановить транспортное средство в пределах видимости дороги в направлении движения;
- при возникновении препятствия или опасности для движения, которые водитель в состоянии обнаружить, он обязан немедленно принять меры к снижению скорости движения, вплоть до остановки транспортного средства.

В населенных пунктах разрешается движение транспортных средств со скоростью не более 60 км/ч, а буксирующим механические транспортные средства – не более 50 км/ч, в жилых и пешеходных зонах, на прилегающих территориях – не более 20 км/ч.

Вне населенных пунктов разрешается движение со скоростью:

- легковым автомобилям и грузовым автомобилям с технически допустимой общей массой не более 3,5 тонны на автомагистралях – не более 110 км/ч, на остальных дорогах – не более 90 км/ч;
- автобусам и мотоциклам – не более 90 км/ч;
- автобусам, легковым и грузовым автомобилям при их движении с прицепом, грузовым автомобилям с технически допустимой общей массой более 3,5 тонны на автомагистралях – не более 90 км/ч, на остальных дорогах – не более 70 км/ч;
- механическим транспортным средствам, управляемым водителями с водительским стажем до двух лет, а также при обучении управлению механическим транспортным средством, когда транспортным средством управляет обучаемый управлению, – не более 70 км/ч;
- грузовым автомобилям, перевозящим пассажиров в кузове, – не более 60 км/ч;
- транспортным средствам, буксирующим механические транспортные средства, – не более 50 км/ч.

По мнению Д.Н. Бахраха [9], «признак деяния – ведущий, главный признак объективной стороны, это стержень, вокруг которого группируются иные ее признаки (способ, время, место и др.). Основу каждого деяния составляет система элементарных действий или даже определенная деятельность». В данное определение, кроме ведущего основного признака объективной стороны состава административного проступка, входят дополнительные (вспомогательные) признаки: способ, время, место, которые включаются законодателем лишь в отдельные составы проступков и учитываются при их квалификации. Выявление этих признаков обязательно, когда они входят в составную часть административно-правовой нормы, т.е. включены в объективную сторону состава административного проступка законодателем. Анализ содержания административных норм позволяет сделать вывод, что основой противоправного деяния, в котором сконцентрирована степень общественной вредности, является объективная сторона состава административного правонарушения. Именно здесь находит отражение противоправное общественно вредное влияние виновного лица субъекта административного проступка.

Всех субъектов административных правонарушений в сфере дорожного движения делят на следующие группы:

- должностные и другие лица транспортных и иных предприятий и организаций, ответственные за использование транспортных средств;
- должностные и другие лица дорожно-эксплуатационных, строительных и иных организаций;
- водители транспортных средств;
- пешеходы;
- пассажиры;
- прочие, пользующиеся дорогами лица (велосипедисты, возчики и др.), противоправные действия которых могут угрожать БДД.

Каждый из этих субъектов проступка несет административную ответственность только за персонально совершенное правонарушение. Противоправные действия или бездействие указанных выше субъектов образуют правонарушение при наличии вины. Применительно к ст. 18.13 КоАП субъектами исследуемого состава административного правонарушения могут быть лица, управляющие транспортным средством, которые превысили скорость движения.

Общепризнанным является тот факт, что само противоправное действие – нарушение ПДД – может быть как неосторожным, так и умышленным. Подчеркнем, что речь идет о психическом отношении не к какому-то неопределенному действию или бездействию со стороны водителя, а об отношении к нарушению ПДД,

т.е. к противоправному деянию. Таким образом, к факту нарушения правил водитель относится виновно, т.е. действует умышленно или неосторожно.

В исследуемом составе административного правонарушения субъективная сторона выражена в форме умысла. Правонарушение признается совершенным умышленно, если лицо, его совершившее, сознавало общественно вредный (опасный) противоправный характер своего действия, предвидело его общественно опасные (вредные) последствия и желало их (прямой умысел) или сознательно допускало наступление этих последствий (косвенный умысел).

Вопрос о понятии и сущности административного процесса в административно-правовой литературе является одним из самых дискуссионных. Существуют различные точки зрения на границы и объем административного процесса [10]. Поскольку при реализации исполнительной власти исполнительные органы (должностные лица) совершают различного рода действия (иными словами, осуществляют государственно-управленческую деятельность), то, соответственно, при этом также имеет место процесс. В традиционном юридическом смысле понятие «процесс», как правило, отождествляется с деятельностью судебных органов по рассмотрению и разрешению конкретных уголовных, гражданских, трудовых и прочих дел (уголовный и гражданский процесс). Однако в подобном понимании процесс сводится лишь к правоохранительной деятельности, составляющей главное содержание функций правосудия. При рассмотрении подобных дел суд реагирует на отклонения от требований материального права, т.е. осуществляет судебную юрисдикцию, применяя санкции соответствующих правовых норм.

Государственно-управленческая деятельность в основном сориентирована на решение задач позитивного характера; юрисдикция не является определяющим ее содержание признаком, а сама она не совпадает с судебно-процессуальной деятельностью [1].

С юридической точки зрения процесс имеет своим назначением реализацию норм материального права. Тогда деятельность по реализации материальных административно-правовых норм можно рассматривать в качестве административного процесса. Таким образом, административный процесс обеспечивает применение норм административного права в сфере государственного управления в целях достижения определенных юридических результатов (последствий), предполагаемых диспозицией нормы [11]. Следовательно, осуществляя государственно-управленческую деятельность, соответствующие исполнительные органы (должностные лица) совершают административно-процессуальные действия правоприменительного и правоохранительного характера, т.е. реализуют диспозиции и санкции административно-правовых норм.

Административно-процессуальная деятельность осуществляется в определенном порядке, поэтапно. Такие этапы процессуальной деятельности в правовой науке называют стадиями. Каждая стадия – это совокупность процессуальных действий, имеющих самостоятельный характер и призванных решать свойственные только ей задачи. Одна стадия отличается от другой кругом участников процесса, совершением разного рода действий, оформлением специальных процессуальных документов, подводящих итог на данном этапе. В то же время, несмотря на самостоятельность каждой стадии, они подчинены решению общей задачи административного процесса и тесно связаны между собой: каждая последующая начинается только после завершения предыдущей; на новой стадии проверяется то, что было сделано ранее.

Стадиями административного процесса по законодательству являются:

- возбуждение дела об административном правонарушении;
- подготовка дела об административном правонарушении к рассмотрению;
- рассмотрение дела об административном правонарушении;
- обжалование и опротестование по делу;
- исполнение постановления о наложении административного взыскания.

Стадия возбуждения дела об административном правонарушении, будучи начальным этапом производства по делу, имеет предопределяющее значение для всего правоприменительного процесса. На этой стадии по абсолютному большинству дел компетентными должностными лицами совершается комплекс процессуально-процедурных действий, в ходе которых производится установление факта проступка, его фиксация в протоколе об административном правонарушении, определяется круг возможных доказательств, решается вопрос о направлении дела для рассмотрения по существу органу, правомочному принимать решение о применении предусмотренных законом мер административного взыскания.

Рассмотрение дела происходит с учётом норм КоАП, принципов и иных норм административного процесса.

Подготовка дела об административном правонарушении к рассмотрению должна быть осуществлена не позднее десяти суток, а по делам о таможенных правонарушениях, против экологической безопасности, окружающей среды и налогообложения – не позднее двух месяцев со дня начала административного процесса, и заканчивается подготовка дела об административном правонарушении:

- составлением протокола об административном правонарушении;
- прекращением дела (ст. 9.6, 10.1 и 10.27 ПИКоАП).

В соответствии со ст. 3.30 ПиКоАП [12] органы внутренних дел и Министерства обороны Республики Беларусь уполномочены составлять протоколы об административных правонарушениях по ст. 18.13 КоАП.

Об этом уведомляются: лицо, в отношении которого ведется процесс либо дело прекращено; представители; защитник. Они имеют право ознакомиться с материалами, заявлять ходатайства о проведении дополнительных процессуальных действий.

Рассмотрение дела – наиболее важная стадия административного процесса, т.к. ее задачей является проверка, юридическая оценка всех обстоятельств дела (полученных доказательств) и принятие по нему решения. В соответствии со ст. 3.6 ПиКоАП органы внутренних дел рассматривают дела об административных правонарушениях, предусмотренных статьями 18.12–18.26 КоАП, протоколы о совершении которых составлены должностными лицами органов внутренних дел.

В соответствии с ч. 5–8 ст. 18.13 КоАП превышение лицом, управляющим транспортным средством, установленной скорости движения должно быть зафиксировано работающими в автоматическом режиме специальными техническими средствами, имеющими функции фото- и киносъемки, видеозаписи.

ПиКоАП предусматривает следующие особенности административного процесса при использовании специальных технических средств, имеющих функции фото- и киносъемки, видеозаписи.

Так, согласно ст. 6.1 ПиКоАП лицо, в отношении которого вынесено постановление о наложении административного взыскания в порядке, предусмотренном частью 31 статьи 10.3 ПиКоАП, вправе в течение одного месяца со дня получения копии такого постановления представить в Государственную автомобильную инспекцию по месту жительства доказательства того, что в момент фиксации административного правонарушения транспортное средство находилось во владении или в пользовании другого лица либо к данному моменту было из его обладания в результате противоправных действий других лиц [12].

В случаях фиксации превышения скорости движения, нарушения правил остановки или стоянки транспортного средства работающими в автоматическом режиме специальными техническими средствами протокол об административном правонарушении не составляется. Должностным лицом, уполномоченным составлять протокол об административном правонарушении, выносится постановление о наложении административного взыскания без участия лица, в отношении которого ведется административный процесс. Данное постановление вступает в законную силу с момента его вынесения.

Таким образом, в данной главе рассмотрены особенности административного процесса по нарушениям скоростных режимов, в частности ч. 5–8 ст. 18.13 КоАП, по итогам которого следует сделать следующие выводы:

1. Объектными признаками состава правонарушения, предусмотренного ст. 18.13 КоАП, являются:
 - непосредственным объектом превышения скорости движения (ст. 18.13 КоАП) выступают безопасное движение транспортных средств, участников дорожного движения, нормальное функционирование пешеходных переходов, железнодорожных переездов и т.д.
 - в соответствии со ст. 18.13 КоАП объектную сторону составляет противоправное деяние в форме активного действия, а именно – превышение лицом, управляющим транспортным средством, установленной скорости движения.
2. Субъективные признаки состава правонарушения, предусмотренного ст. 18.13 КоАП:
 - применительно к ст. 18.13 КоАП субъектами исследуемого состава административного правонарушения могут быть лица, управляющие транспортным средством, которые превысили скорость движения;
 - в исследуемом составе административного правонарушения субъективная сторона выражена в форме умысла.

Заключение. По результатам проведенного исследования действующего законодательства Республики Беларусь выработаны предложения по внесению изменений для более эффективного обеспечения БДД:

- ввести в КоАП и ПиКоАП общее правило о возможности фиксации специальными техническими средствами любых административных правонарушений против безопасности движения и эксплуатации транспорта, а ч. 5–8 ст. 18.13 КоАП и ч. 6–7 ст. 18.22 КоАП исключить;
- отразить вопрос фиксации специальными техническими средствами любых административных правонарушений против безопасности движения и эксплуатации транспорта в Законе Республики Беларусь от 5 января 2008 г. № 313-З «О дорожном движении» и постановлении МВД Республики Беларусь от 01 июня 2012 г. № 155 «Об утверждении Инструкции об организации деятельности подразделений дорожно-патрульной службы Государственной автомобильной инспекции Министерства внутренних дел Республики Беларусь»;
- предусмотреть возможность установления факта превышения скорости на основе средней скорости движения транспортного средства на определенном участке. При этом предусмотреть примечанием, что средняя скорость определяется путем деления пройденного транспортным средством расстояния на время, затраченное этим транспортным средством на преодоление данного участка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Круглов, В.А. Административный (административно-деликтный) процесс в Республике Беларусь / В.А. Круглов. – Минск : Амалфея, 2007. – 388 с.

2. Кодекс об административных правонарушениях [Электронный ресурс] : Кодекс Респ. Беларусь, 21 апр. 2003 г., № 194-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
3. О дорожном движении [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 2008 г. № 313-З ; в ред. от 12.07.2013 № 62-З // Консультант Плюс. Беларусь. Технология 3000 / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
4. Иванова, О. Понятие административной ответственности и ее роль в регулировании отношений в сфере дорожного движения [Электронный ресурс] / О. Иванова // Человек и закон. – 2018. – Режим доступа: <http://www.chelizakon.ru>. – Дата доступа: 16.04.2018.
5. Тагунов, Д.Е. Административное право и процесс : курс интенсивной подготовки / Д.Е. Тагунов, П.С. Забелов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 288 с.;
6. Административное право / под ред. Л.Л. Попова, М.С. Студеникиной. – М. : Инфра-М, 2008. – 630 с.
7. Дмитриев, Ю.А. Административное право : учеб. для юрид. вузов / Ю.А. Дмитриев, А.А. Евтеева, С.М. Петров. – М. : Эксмо, 2005. – 650 с.
8. О мерах по повышению безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 28 нояб. 2005 г., № 551 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
9. Бахрах, Д.Н. Административное право : учеб. для вузов / Д.Н. Бахрах, Б.В. Российский, Ю.Н. Стартов. – М. : НОРМА, 2005. – 790 с.
10. Административное право и административный процесс: актуальные проблемы / отв. ред. Л.Л. Попов и М.С. Студеникина – М. : Юрист, 2004. – 302 с.
11. Кивайко, В.Н. Административный процесс : практ. пособие / В.Н. Кивайко, А.П. Булгаков. – Минск : Акад. МВД Респ. Беларусь, 2006. – 224 с.
12. Процессуально-исполнительный кодекс Республики Беларусь об административных правонарушениях [Электронный ресурс] : Кодекс Респ. Беларусь, 20 дек. 2006 г., № 194-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

Поступила 16.06.2021

IMPROVEMENT OF THE LEGISLATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS ON ISSUES OF PHOTO- AND VIDEO RECORDING OF SPEED OFFENSES IN AUTOMATIC MODE

D. KAPSKY, D. LEVANOVICH, V. IVANOV, A. GOLOVNICH

The analysis of an administrative offense is given, highlighting its signs and degree of danger. The guilt of drivers and officials for speeding vehicles was determined. It is proposed to provide for the possibility of establishing by special technical means the fact of exceeding not only the speed on the basis of determining the average speed of a vehicle in a certain area with its automatic calculation, but other administrative offenses against traffic safety and transport operation.

Keywords: road traffic, safety, offense, speed limit.

УДК 53.083.7:53.088:681.121

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА РАСХОДА ТОПЛИВА В СИСТЕМЕ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТРУДОЕМКОСТИ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

канд. техн. наук, доц. А.С. ГУРСКИЙ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Корректировочные коэффициенты при выполнении расчетов фактической работы транспортного средства, периодичностей технического обслуживания (ТО) и трудоемкостей текущего ремонта (ТР) транспортных средств в различных условиях эксплуатации формируются на основе комплекса эксплуатационных параметров. Одним из основных параметров является величина часового расхода топлива. Точность информации, получаемой от датчика расхода топлива, влияет на результаты обработки информации всего комплекса параметров. В работе проводится анализ цифрового сигнала датчика расхода топлива с целью возможности применения для фиксации фактической работы, выполняемой транспортным средством по расходу топлива. Определяется погрешность измерения датчиком расхода топлива, преобразования и передачи информации на сервер. Рассмотрена возможность использования датчика данного типа в системе расчета корректирующих коэффициентов технического обслуживания и трудоемкостей текущего ремонта транспортных средств и фактического выполнения транспортной работы в различных режимах эксплуатации.

Ключевые слова: параметр, расход топлива, датчик, погрешность, периодичность, техническое обслуживание, коэффициент.

Введение. Для обеспечения в современных условиях поддержания транспортных средств в технически исправном состоянии необходимо проводить расчет периодичностей технического обслуживания (ТО) и трудоемкостей текущего ремонта (ТР) транспортных средств по результатам их оперативного контроля по фактической выполняемой работе при движении в различных условиях эксплуатации. Корректировочные коэффициенты формируются на основе комплекса эксплуатационных параметров. Одним из основных параметров в комплексе является величина часового расхода топлива. Точность информации, получаемой от датчика расхода топлива, влияет на результаты обработки информации всего комплекса параметров. Указанный параметр используется при расчетах коэффициента K_1 , учитывающего условия эксплуатации, и коэффициента K_2 , учитывающего модификацию транспортного средства (ТС) и организацию его работы [1]:

$$K_1 = f(V(t), P_T(t)), \quad (1)$$

где V – скорость движения транспортного средства;
 P_T – расход топлива;
 t – элементарный временной интервал считывания данных;

$$K_2 = f(VIN) * f(n_{кв}(t), P_T(t), N(t)), \quad (2)$$

где VIN – идентификационный номер транспортного средства;
 $n_{кв}$ – частота вращения коленчатого вала;
 N – нагрузка на ось транспортного средства.

Расчет K_1 и K_2 производится с одинаковым интервалом. Для определения нагрузки транспортных средств по параметру расхода топлива планируется использование датчиков расхода топлива с преобразованием в CAN-сигнал [2].

Основная часть. Измерение расхода топлива может быть произведено несколькими способами, однако самым точным является измерение расходомером. По способу функционирования и точности существуют различные датчики расхода топлива [3]. Главной задачей при контроле расхода топлива для корректирования периодичности ТО и трудоемкости ТР при использовании в транспортной телематике является выявление способов и средств, обладающих относительной простотой, высокой информативностью и достоверностью. Ранее проводились испытания аналогового датчика расхода топлива на стенде «Современные технологии контроля расхода топлива и мониторинга транспорта». В работе были выявлены определенные достоинства данного типа датчиков: «аналоговый сигнал датчика объема прокачиваемого топлива имеет высокую точность и может быть использован для расчета часового расхода топлива. Все транспортные средства, оснащенные датчиком такого типа, могут быть включены в систему расчета корректирующих коэффициентов ТО и ТР и фактического выполнения транспортной работы. Поверенный датчик данного типа можно использовать для калибровки других систем контроля расхода топлива» [4]. Однако существующая система преобразования и передачи информации на сервер вносит погрешность при изменяющихся режимах прохождения топлива через датчик расхода,

т.к. внутренний интервал счетчика времени датчика имеет относительно большую величину и не позволяет производить измерения с высокой точностью в неустоявшемся режиме прокачиваемого топлива.

Испытания цифрового датчика проводились на стенде «Транспортная телематика». Расположение компонентов и органов управления представлено на рисунке 1.

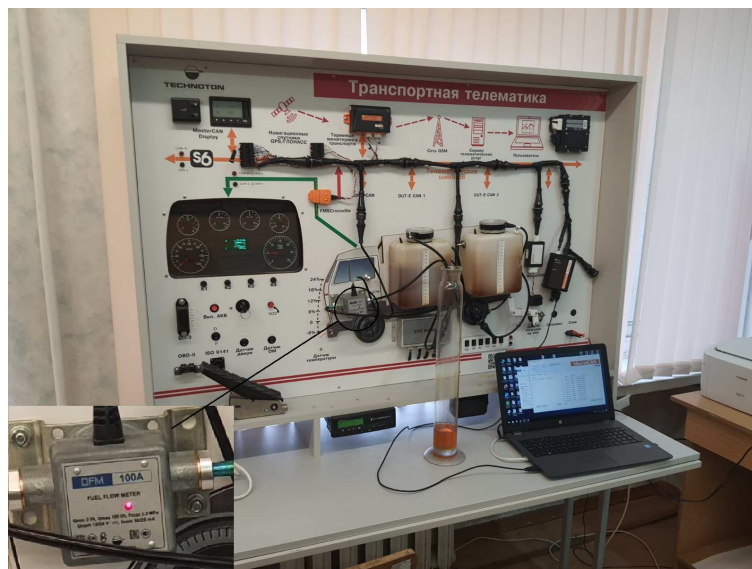


Рисунок 1. – Компоненты и органы управления стенда в режиме проверки цифрового датчика расхода топлива

В соответствии с классификацией датчиков были определены основные параметры и возможности представленного датчика DFM 100A CAN. Число 100 указывает на максимальный расход топлива, который датчик способен измерить, в л/ч, что соответствует 1,67 л/мин. Буква А указывает на исполнение датчика без экрана. Источником сигнала в датчике является геркон МК-4-1А71В-500W фирмы MEDER. По результатам проведения опыта с аналоговым датчиком было выявлено, что при объеме перекачанного топлива 120 мл количество полных импульсов составляет 24, следовательно, за период одного полного импульса объем, проходящий через датчик, соответствует 5 мл. Эту величину принимаем за постоянную для данного типа датчиков расхода топлива [4]. Расходомер топлива DFM CAN имеет нормированный импульс с преобразованием определенного количества импульсов на литр топлива в сигнал CAN. Нормализация импульсов выходного сигнала с преобразованием осуществляется встроенной электронной платой.

Скорость передачи данных в шине составляет 500 кБ/с. Для передачи цифровой информации на стенде «Транспортная телематика» имеются две шины: стандартная шина передачи данных с выходом для коммутации через универсальный диагностический разъем OBD-II и специализированная шина данных S6, используемая для работы с цифровым терминалом мониторинга транспорта. Датчик расхода топлива непосредственно подключен к шине S6, однако через шлюз информация может быть передана и в диагностический разъем OBD-II. При анализе электрического сигнала установлено, что передача информации производится с периодичностью от нескольких миллисекунд до нескольких секунд, что требует скрупулезного изучения специфики сигнала.

Данные в шине передаются бит за битом последовательно, таким же образом принимаются. Число бит в протоколе передачи данных зависит от размера данных. Биты составляют отдельные поля, из которых складываются кадры передачи данных с 29-битным идентификатором: начало кадра (1 бит); арбитражное поле (29 бит); неиспользуемое поле (1 бит); поле управления (6 бит); поле данных (64 бита); поле контрольной суммы (16 бит); поле подтверждения (2 бита); конец кадра (7 бит).

Цифровой сигнал датчика расхода топлива передается в шины данных CAN и/или S6, а затем производится передача на сервер с помощью трекера терминала мониторинга транспорта. Для считывания информации с шины S6 и CAN в лаборатории используется профессиональный прибор MasterCAN Tool Pro. Используя 29-битный идентификатор и изменяя скорость прокачки топлива, выявляем специфические номера PGN и SPN. Данная процедура позволяет определить необходимые для работы поля данных.

Полученный электрический сигнал датчика расхода топлива преобразуется и расшифровывается с помощью специального программного обеспечения, входящего в комплект данного оборудования. Если прибор подключается в общую шину данных, то одновременно можно увидеть огромное количество различных идентификаторов соответствующих устройств, подключенных в шину. Из общего потока данных выделяются данные с идентификатором, соответствующим датчику расхода топлива. В данном случае идентификатор в шест-

надцатеричной системе исчисления имеет значение 18F6056F (рисунок 2). Начиная с первого приходящего сообщения можно рассчитать период следования сообщений:

$$T_{h1} = t_2 - t_1, \quad (3)$$

Где t_1 – момент появления первого сообщения;
 t_2 – момент появления второго сообщения.

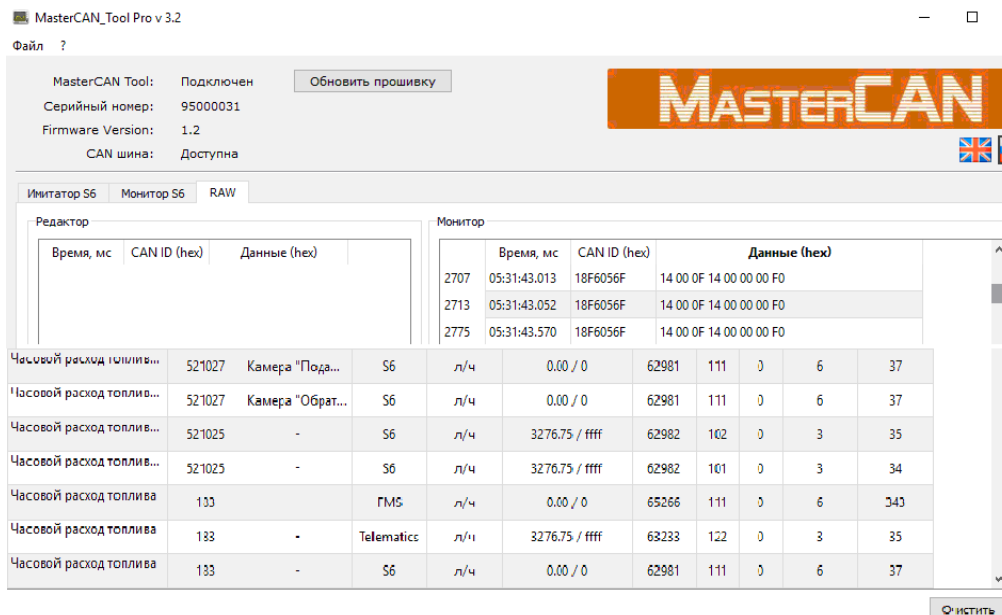


Рисунок 2. – Выделение с помощью программы MasterCAN Tool Pro v 3.2 идентификатора со значением 18F6056F и расшифровка сообщения датчика расхода топлива

Между первым и вторым сообщениями с исследуемым идентификатором с момента включения питания стенда период составляет 39 мс, между вторым и третьим – 518 мс, а между последующими – около 1 с. Полученные данные времени будем заносить в таблицу для определения среднего значения периода и других расчетов, т.к. параметр времени в расчетах всех величин будет основополагающим. Значения в поле данных находятся в шестнадцатеричной системе исчисления в зашифрованном виде. При переходе на вкладку программы «монитор S6» производится автоматическое преобразование в десятичную систему исчисления и приведение в правильную форму значения часового расхода топлива. Кроме того, в данной вкладке дополнительно указывается на приоритет сообщения, его характерные идентификационные указатели: номера SPN и PGN, раздел шины данных, единицы измерений.

При выполнении испытаний были получены массивы данных сигнала датчика расхода топлива. С целью повышения точности показания считывались по три раза на одних и тех же режимах. Фактическое количество топлива определялось по объему топлива, перекачиваемому в мерную емкость.

Прокачивая топливо с постоянной скоростью, определим задействованные для шифрования ячейки поля данных. В процессе анализа был выявлен информационный байт – B0. Переводим его значение из шестнадцатеричной системы в десятичную:

$$D = B0(\text{hex}) \text{ to dec.} \quad (4)$$

В ходе анализа закономерностей был выявлен линейный характер изменения параметра, что позволило производить пересчет полученных значений в результирующий параметр с постоянным коэффициентом C ($C = 20$). Для определения часового расхода топлива необходимо воспользоваться формулой пересчета

$$G_{Th} = \left(\frac{D}{C} \right). \quad (5)$$

Следующим этапом определяется момент начала перекачки топлива. По возникающим значениям в области ячеек информационного байта ненулевого сообщения произведем повторный замер показаний датчика расхода топлива, контролируя весь процесс считывания информации. Всего в данном опыте было зафиксировано 185 сообщений. Производя пересчет полученных значений часового расхода топлива, заносим результат в таблицу и отображаем графически в соответствии с данными времени (рисунок 3). Измерение интервалов времени поступающих сообщений производится с точностью до тысячных долей секунды.

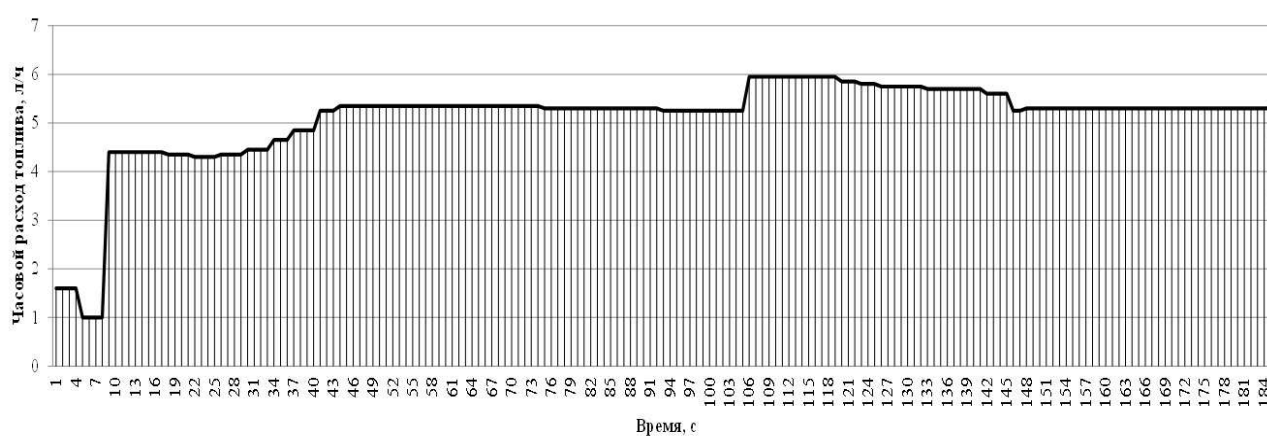


Рисунок 3. – Часовой расход топлива в соответствии с секундными интервалами времени

Длительность работы датчика расхода топлива определяется по вкладке «Монитор» программы MasterCAN Tool Pro v 3.2 идентификатора со значением 18F6056F от момента появления первого ненулевого сообщения до момента последнего и определяется по формуле

$$T_n = t_n - t_1, \quad (6)$$

ГДЕ t_n – момент появления последнего ненулевого сообщения.

Для данного измерения длительность работы датчика в процессе определения ненулевых сообщений составила 184,882 с.

На первом этапе рассчитаем параметры электрического сигнала датчика расхода топлива: среднее значение периода ненулевых сообщений, погрешность сообщений в цифровом виде, абсолютную и относительную погрешности. Для обработки данных обозначим характерные точки на мониторе сообщений для выявления временных показателей.

Среднеарифметическое значение периода появления сообщений определяется в соответствии с монитором за период следования n -го количества сообщений:

$$T_{mh} = \frac{T_n}{n_h}, \quad (7)$$

где n_h – количество ненулевых сообщений при измерении.

Измеренное среднеарифметическое значение периода поступающих сообщений составило 0,999 с. Абсолютная погрешность измерения рассчитывается следующим образом:

$$\Delta T_h = T_{h1} - T_{mh}. \quad (8)$$

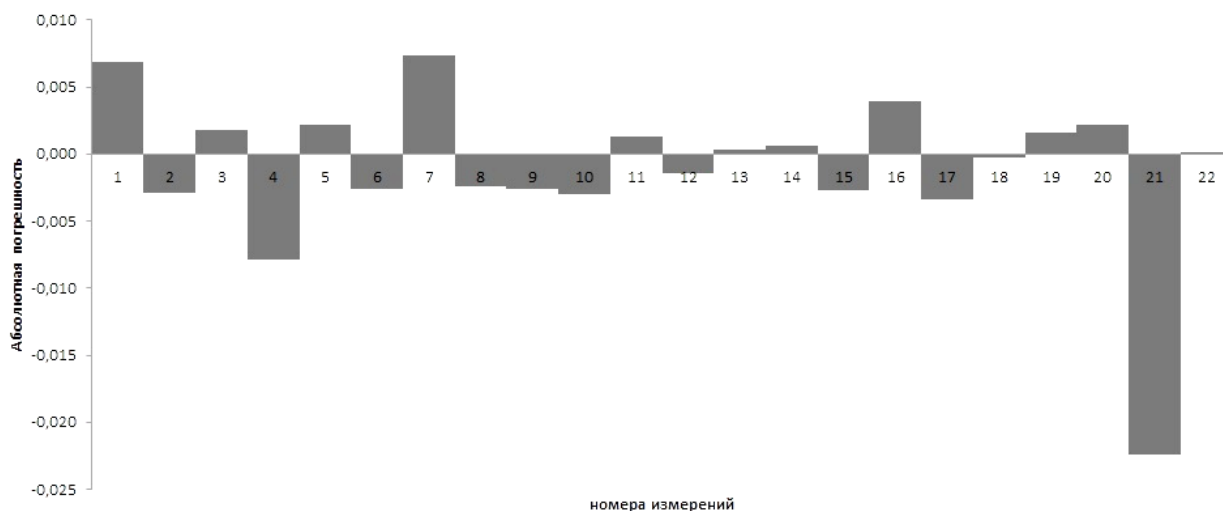


Рисунок 4. – Гистограмма абсолютной погрешности цифровых сообщений в шине данных

Гистограмму абсолютной погрешности цифровых сообщений в шине данных – см. рисунок 4.

Гистограмма абсолютной погрешности периода передачи показывает, что отклонение периодичности получения данных не превышает 25 мс в секундном интервале. Скорость передачи в шине CAN с использованием такой системы передачи полностью соответствуют требуемым. Расчет относительной погрешности в данном случае неактуален.

В данном испытании выявлено, что повтор неизменных данных происходит на протяжении 3–4 сообщений. Это указывает на низкую скорость считывания и обработки информации непосредственно в датчике расхода топлива. Для проверки возможности увеличения интервала передачи, а также адекватности получаемых значений проведем упрощение первого графика, уменьшая количество точек в 3 раза с последующим их сравнением. После оптимизации значений графика часового расхода топлива получаем немного упрощенный график (рисунок 5), подобный графику, представленному ранее (см. рисунок 3).

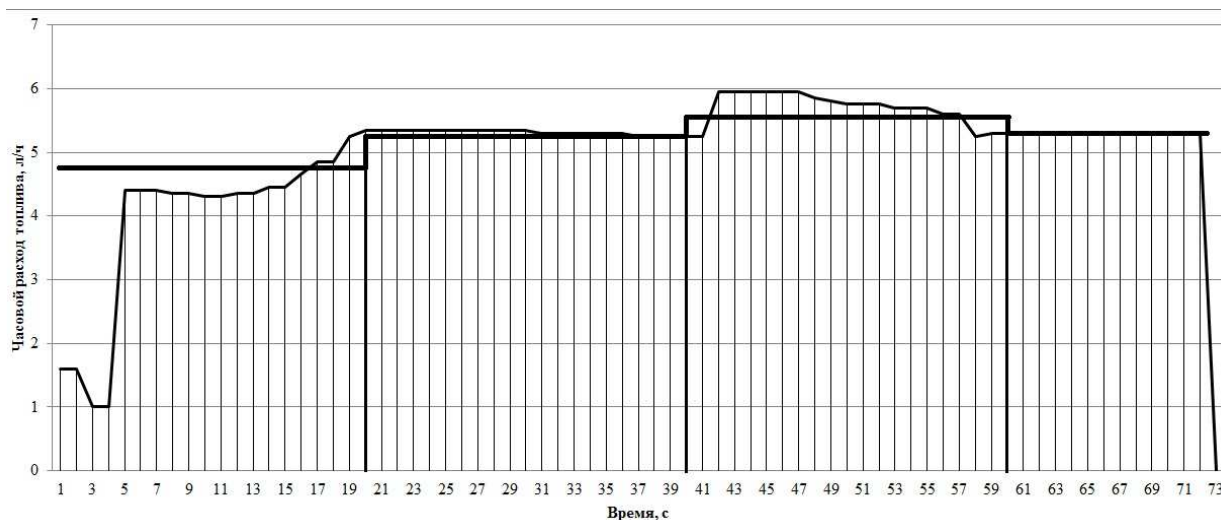


Рисунок 5. – Оптимизированный график часового расхода топлива с учетом скорости считывания и обработки информации в датчике с наложением усредненных значений часового расхода топлива, полученных с сервера

Анализируя приведенный график после оптимизации и сравнивая его с предыдущим, можно заключить, что графики абсолютно подобны. Проведенные ранее исследования условия необходимости и достаточности параметров датчика, в частности скорости, с которой необходимо получать информацию при расчете периодичности технического обслуживания транспортных средств и трудоемкости текущего ремонта, дают основание полагать, что скорости передачи после оптимизации достаточно. Таким образом, длительность периода отправки сообщений в шинах передачи можно увеличить в 3 раза, т.е. 1 раз в 3 с без потери достоверности информации.

Одновременно с этими измерениями контролируем изменения расхода топлива на сервере телематических услуг. При различной скорости истечения топлива испытания проводим при нескольких скоростях прокачки для данного датчика. Изменение значений происходит с большим периодом считывания информации самим мерным блоком датчика. Данные с высокой точностью передаются по шине и подобным образом интерпретируются на сервере. На рисунке 6 показаны графики сервера испытаний и укрупненный график рассмотренного измерения.

Наибольшая погрешность информации расхода топлива происходит при передаче на сервер. Сравнивая графики с информацией на сервере, видим большие расхождения, особенно в неуставившемся режиме. Связано это прежде всего со скоростью передачи информации на сервер 1 раз в 60 с, что в 20 раз медленнее считывания и в 60 раз медленнее передачи в шине.

Учитывая все вышеизложенное, для получения более высокой точности на сервере следует увеличить периодичность передачи в системе телематики в 20 раз, что потребует удорожания данного процесса. Другим способом повышения точности является предварительное преобразование информации перед отправкой на сервер.

Все данные, полученные на протяжении всех испытаний, заносим в таблицу. Производим расчеты часового расхода топлива и погрешностей при измерении различными способами. Рассмотрим погрешности на различных скоростях прокачки топлива через датчик расхода топлива. Абсолютную и относительную погрешности для всех способов будем сравнивать с полученными измерениями и расчетами при проверке измерительной емкостью. Измерения с использованием мензурки имеют наибольшую точность, однако отражают только усредненные значения расхода топлива. Полученные значения расхода топлива будут использованы при расчете погрешностей при сравнении с другими способами измерений.

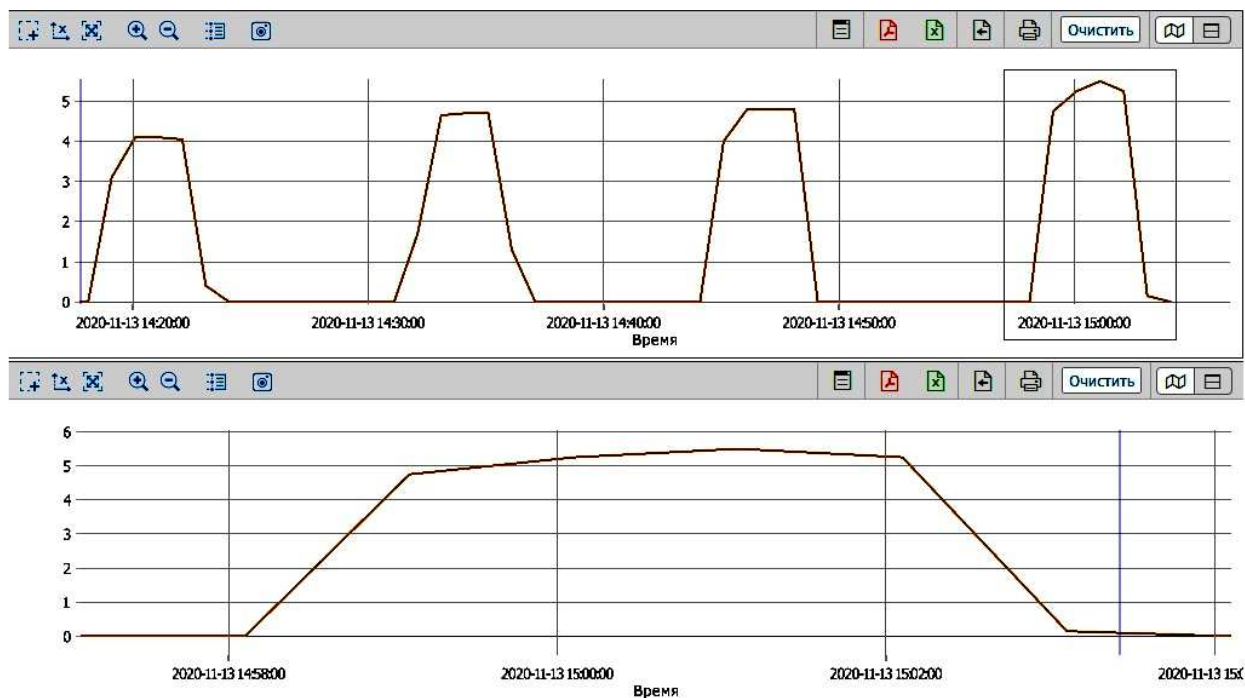


Рисунок 6. – Графики среднего расхода топлива сервера проведенного этапа испытаний, полученные с сервера с укрупнением одного из измерений

Расчет часового расхода топлива производится по формуле

$$G_{TV} = \left(\frac{V}{T_n}\right) \cdot 3,6, \quad (9)$$

где V – объем топлива, полученный при прокачке через датчик расхода топлива в мерную емкость. Абсолютная погрешность измерения определяется как

$$\Delta G_T = G_T - G_{TM}. \quad (10)$$

Относительная погрешность определяется по формуле

$$E_{G_T} = \frac{\Delta G_T}{G_T} \cdot 100. \quad (11)$$

Таблица. – Данные, полученные при измерении мерной емкости и при расчете средних значений с определением погрешностей в различных режимах прокачки

Режим прокачки	1	2	3	4	5
t_1, c	34,596	41,667	57,243	43,885	37,461
t_n, c	309,460	264,526	258,162	277,790	282,343
n_h	275	223	201	234	245
T_n, c	274,964	222,859	200,92	233,91	244,882
$V, мл$	200	250	300	300	350
$G_{TVm}, л/ч$	2,62	4,04	5,37	4,62	5,15
$G_{Tservm}, л/ч$	2,63	3,77	4,68	4,17	4,7
$\Delta G_{Tserv}, л/ч$	0,01	0,27	0,69	0,45	0,45
$E_{G_{Tserv}}, \%$	0,44	6,7	12,8	9,74	9,11

На рисунке 5 показано распределение значений, получаемых с датчика расхода топлива, с наложением средних значений, фиксируемых на сервере данных в одном из режимов прокачки топлива. Можно наблюдать, насколько грубо значения на сервере искажаются по отношению к реальным данным. В данном случае нет необходимости делать математическое сравнение, т.к. отклонения очевидны. Данный график значений датчика

часового расхода топлива показывает, что измеренное значение с высокой точностью полностью нивелируется за счет существующего преобразования и передачи данных на сервер, что требует особого внимания к данной группе параметров. Для повышения точности информации часового расхода топлива на сервере обработку полученных данных датчика расхода топлива необходимо проводить до передачи на сервер или увеличивать частоту передачи на сервер.

График, представленный на рисунке 5, полностью подтверждает факт получения правильных данных в усредненном виде, особенно в установившемся режиме прокачки топлива, что показывают вторая и четвертая минуты проверки со значением 5,2 л/ч. На графике видна большая погрешность в неустойчивом режиме прокачки топлива, особенно на первой минуте; при этом при средних показаниях на сервере (значения 4,8 л/ч) данные в шине колеблются от 1 до 5,3 л/ч. При различной длительности одновременно можно видеть, что значение имело несколько колебаний в течение первого интервала. Особый интерес данный интервал представляет на скоростях отображения информации в режиме ускорения транспортного средства. Представленный график позволяет сделать вывод о высокой достоверности данных, получаемых с датчика в шине данных CAN и S6, что дает основание полагать, что данные после преобразования позволяют контролировать потребление топлива и на неустойчивых режимах.

Следует предположить, что полученная точность часового расхода топлива соответствует требуемым условиям по определению корректирующих коэффициентов для расчета периодичностей технического обслуживания транспортных средств и трудоемкостей текущего ремонта, а также расчета фактической транспортной работы. Также важно обратить внимание, что выбор способа преобразования и передачи данных на сервер необходимо проводить с определением экономической эффективности.

Заключение. Проведен анализ цифрового сигнала датчика расхода топлива. Подтверждена возможность применения указанного датчика для определения фактической работы, выполняемой транспортным средством по расходу топлива. Определена погрешность измерения датчиком расхода топлива, преобразования и передачи информации на сервер. Подтверждена возможность использования датчика данного типа в системе расчета корректирующих коэффициентов технического обслуживания и трудоемкостей текущего ремонта транспортных средств и фактического выполнения транспортной работы в различных режимах эксплуатации.

Основываясь на проведенных исследованиях, были сделаны следующие выводы:

1. Цифровой сигнал датчика объема прокачиваемого топлива имеет высокую точность и может быть использован для расчета часового расхода топлива при проведении испытаний на транспортных средствах.
2. Данные часового расхода топлива, передаваемые и получаемые в шине данных CAN и S6, имеют низкую погрешность, что дает возможность измерять потребление топлива в неустойчивых режимах движения.
3. Все транспортные средства, оснащенные датчиком такого типа, могут быть включены в автоматизированную систему расчета корректирующих коэффициентов технического обслуживания и текущего ремонта, а также для определения фактического выполнения работы транспортным средством.
4. Существующая система преобразования и передачи информации на сервер вносит искажения и увеличивает погрешность в неустойчивом режиме прохождения топлива через датчик расхода топлива.
5. Для повышения точности информации часового расхода топлива на сервере обработку полученных данных с датчика расхода топлива необходимо проводить до передачи на сервер или увеличивать частоту передачи на сервер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурский, А.С. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств / А.С. Гурский, В.С. Ивашко // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 375–383.
2. Гурский, А.С. Анализ автомобильных систем обмена информацией с возможностью формирования комплекса параметров для дистанционного диагностирования / А.С. Гурский, Е.Л. Савич / Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : матеріали XII МНПК ВНТУ, Вінниця, 22–23 жовтня 2019 р. – Вінниця, 2019. – С. 71–73.
3. Датчик уровня топлива [Электронный ресурс] // Экосистемы. – Режим доступа: <http://ecosystems.spb.ru/equipment/fuel-sensor>.
4. Повышение качества технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств путем мониторинга технического состояния / А.А. Алешко [и др.] ; под ред. Д.Н. Ковалю. – Минск : Транстехника, 2018. – 324 с.
5. Гурский, А.С. Анализ возможности использования аналогового датчика расхода топлива в системе корректирования периодичности технического обслуживания и трудоемкости текущего ремонта / А.С. Гурский, В.С. Ивашко // Изобретатель. – 2020. – № 5 (241). – С. 11–22.

Поступила 23.06.2021

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING AN DIGITAL FUEL CONSUMPTION SENSOR
IN THE SYSTEM FOR CORRECTING THE PERIODICITY OF MAINTENANCE
AND THE COMPLEXITY OF ROUTINE REPAIRS.**

A. GURSKY

In order to ensure the maintenance of vehicles in a technically sound condition in modern conditions, it is necessary to calculate the frequency of maintenance and the complexity of the current repair of vehicles on the basis of the results of operational control of vehicles on the actual work performed while driving in various operating conditions. The correction factors are formed on the basis of a set of operational parameters. One of the main parameters in the complex is the value of the hourly fuel consumption. The accuracy of the information received from the fuel consumption sensor affects the results of processing the information of the entire set of parameters. The analysis of the digital signal of the fuel consumption sensor is carried out in order to be able to use it to determine the actual work performed by the vehicle on fuel consumption. The error of measuring the fuel consumption by the sensor, converting and transmitting information to the server is determined. The possibility of using this type of sensor in the system for calculating the correction factors of maintenance and labor intensity of the current repair of vehicles and the actual performance of transport work in various operating modes is determined.

Keywords: *parameter, fuel consumption, sensor, error, frequency, maintenance, coefficient.*

УДК 001.894

СОПРЯЖЕНИЕ ОСНОВНОЙ ТВОРЧЕСКОЙ ПРОЦЕДУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ КАК УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ НОВЫХ ИДЕЙ

д-р техн. наук П.Н. ШИМУКОВИЧ
(Миорский металлопрокатный завод)

При творческом поиске решения любой задачи исследователь, кроме реализации доступной ему творческой процедуры, неизбежно работает над совокупностью других процессов, которые сосуществуют с ней одновременно и как будто параллельно и независимо: анализирует исходную ситуацию, ставит перед собой определенные цели, прогнозирует желаемый конечный результат, многократно принимает решения, соотносит результат творчества с его практической востребованностью, зачастую определяемую выполняемыми проектными работами. Но это не так: все эти процессы самым непосредственным образом сопряжены с основной творческой работой и во многом определяют ее эффективность. В статье показано, каким образом можно осуществить сопряжение перечисленных процессов с авторскими рекомендациями по системному решению проблем.

Ключевые слова: творческий поиск, творческая работа, проблема, системное решение, рекомендации.

Введение. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) в классическом изложении уже более полувека является надежным инструментом решения творческих задач в различных сферах человеческой деятельности.

Чуть более десяти лет назад мной предложен подход, развивающий основные идеи ТРИЗ на системной основе. Этот новый подход получил обобщающее наименование «ТРИЗ-идеи в системном изложении», или рабочее наименование подхода – рекомендации по системному решению проблем (далее – «Рекомендации»).

Содержание указанного подхода изложено в моих ранее изданных книгах [1–3]. Пользуясь системной терминологией, можно сказать, что в перечисленных книгах представлена система творческого решения разнообразных задач/проблем. Основное внимание при этом уделено описанию внутреннего содержания названной системы: системных аспектов, системных действий, пространственно-временных преобразований, т.е. всего того, что на практике сопряжено с процессом поиска новых оригинальных решений. Вопросам же ее взаимодействия с окружением, или, как это предопределено устоявшейся терминологией системного подхода – с окружающей средой, уделено значительно меньше внимания. А ведь эта сторона творческого процесса является чрезвычайно важной: понимание существа выделяемых в окружении смежных и сопрягаемых с основной творческой процедурой процессов крайне полезно при решении реальных задач.

Основная часть. Ключевые сопряженные процессы. Вначале необходимо определиться с перечнем этих самых сопрягаемых процессов. Для этого представим основное содержание «Рекомендаций» в виде схемы (рисунок 1).

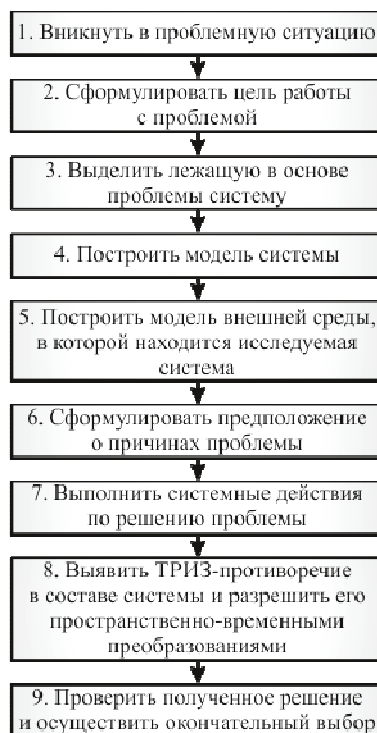


Рисунок 1. – Схематическое изображение последовательности действий при системном решении проблем

Содержание шагов «Рекомендаций», как это следует из приведенных на рисунке 1 сведений, интуитивно понятно. Углубленное ознакомление с их содержанием возможно при прочтении моих упомянутых выше книг.

Первым шагом «Рекомендаций» предусматривается работа исследователя с исходной ситуацией. Он должен предельно точно понять исходные данные, другие доступные сведения, касающиеся этой ситуации, а также существо имеющихся затруднений, неопределенности, ограничения и т.д. Итогом этой работы должно стать собственное понимание существа ситуации и ее проблемности. Подходов к решению данной задачи – великое множество. Но, если имеется множество подходов, то вполне закономерно можно ожидать и множество результатов от их применения, причем не обязательно совпадающих между собой. Поясню представленный вывод графическим изображением (рисунок 2).

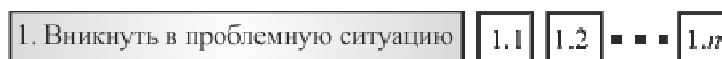


Рисунок 2. – К анализу шага «работа исследователя с исходной ситуацией»

В левой части рисунка 2 приведено название шага «Рекомендаций» – вникнуть в проблемную ситуацию. В правой представлены квадраты с нумерацией 1.1., 1.2, ..., 1.n, которые отображают результаты анализа этой исходной ситуации. Их можно пояснить так:

1.1 – анализ ситуации выполнен поверхностно. Соответственно и представление о ней также поверхностное;

1.2 – анализ ситуации выполнен глубоко, но не всесторонне. Соответственно и в данном случае ситуация реальная отличается от той, какую себе представил исследователь. Вариантов понимания ситуации, которые соответствуют случаям 1.1 и 1.2, может быть достаточно много, вплоть до 1.(n – 1);

1.n – анализ ситуации выполнен глубоко и всесторонне, т.е. системно. В этом случае имеется наибольшая вероятность правильно определить сущность подлежащей решению задачи.

Таким образом, уже на этапе анализа исходной ситуации у исследователя имеется возможность при решении одной и той же задачи оказаться в разных стартовых точках. Причина – качество выполненного анализа исходной ситуации. Чем качественнее будет выполнена работа на данном шаге, тем выше вероятность того, что будет решаться именно имеющаяся задача, а не ее отдаленная копия. Одно из важнейших условий получения результата анализа, обозначенного символами 1.n, – системность выполняемого анализа. К сожалению, далеко не все применяемые на практике подходы являются системными – многие из них являются результатом эмпирических наработок. Их критика не является темой данной статьи. Вместе с тем более основательным является подход, имеющий в своей основе теоретическое обоснование, в частности теорию систем. В этой связи рассмотрим новый подход к анализу исходной ситуации. Он основан на базовых понятиях системного подхода [2]. Поскольку системный подход обеспечивает всесторонний анализ любого явления, то и при анализе исходной ситуации также может быть обеспечен аналогичный результат.

Вторым предусмотренным «Рекомендациями» шагом является формулирование цели работы с проблемой. Здесь, как и на предыдущем шаге, используем его графическое изображение (рисунок 3).



Рисунок 3. – К анализу шага «сформулировать цель работы с проблемой»

В правой части рисунка 3 представлено несколько квадратов, демонстрирующих возможность формулирования разных вариантов цели работы с решаемой задачей, например:

2.1 – исследователем принята в качестве достоверной цель, сформулированная заказчиком;

2.2 – цель базируется на результатах недостаточной проработки исходной ситуации;

2.n – цель базируется на результатах системного анализа исходной ситуации с учетом объективного знания предметной области задачи и отображением субъективных предпочтений исследователя.

В данном случае, как и при работе с исходной ситуацией, очевидна возможность существования множественности целей: задача одна и та же, а целей работы с ней – множество, причем не все из них являются корректными. Как в этом случае быть? Замечу, что общие требования к постановке целей общеизвестны и определены, например, методом SMART [3]: цели должны быть конкретными, измеримыми, достижимыми, значимыми, соотношенными с конкретным сроком. Эти требования не оспариваются – они обоснованы. Сложность предопределена недостаточным развитием механизмов реализации представленных требований. И причин здесь несколько, например:

– решение творческой задачи всегда происходит в условиях неопределенности и под ее влиянием крайне трудно сформулировать правильную конечную цель, находясь в самом начале творческого процесса.

Таким образом, на данном этапе работы с проблемой исследователь имеет возможность сформулировать лишь первичную цель;

– «Рекомендации» – это последовательность многочисленных ходов. При этом каждый очередной шаг есть следствие ранее осуществленных и одновременно стартовая точка для последующих шагов, которые в точке ветвления могут быть представлены известной логической моделью «один ко многим». Тем самым уже в момент постановки цели формируется огромный массив ее вариантов. Правила действий исследователя для урегулирования складывающейся ситуации требуют дополнительного рассмотрения. По этой причине возможна корректировка первичной цели по мере погружения исследователя в задачу. Здесь же возникает и еще один вопрос: имея несколько формулировок целей, исследователь в итоге должен остановиться на одной из них, то есть сделать выбор. Как известно из специальной литературы, выбор должен осуществляться по определенным правилам, и эти правила, увязанные с содержанием творчески решаемой задачи, должны быть известны исследователю;

– существуют особенности психологического восприятия и оценки целей человеком, в т.ч. и открытые сравнительно недавно. Эти особенности, безусловно, также необходимо включить в процедуру постановки целей.

Таким образом, рассмотрение представленных, а также некоторых других особенностей постановки цели – важный компонент реализации процесса решения творческих задач.

Описать другие особенности применения «Рекомендаций» к решению творческих задач изложенным выше образом – последовательно и раздельно – не представляется возможным. Это логично, поскольку системный подход учит: в системе все связано со всем. В этой связи для дальнейшего изложения материала использовано графическое изображение последовательности действий исследователя при работе над решением проблем, доработанное с учетом отмеченной особенности (рисунок 4).

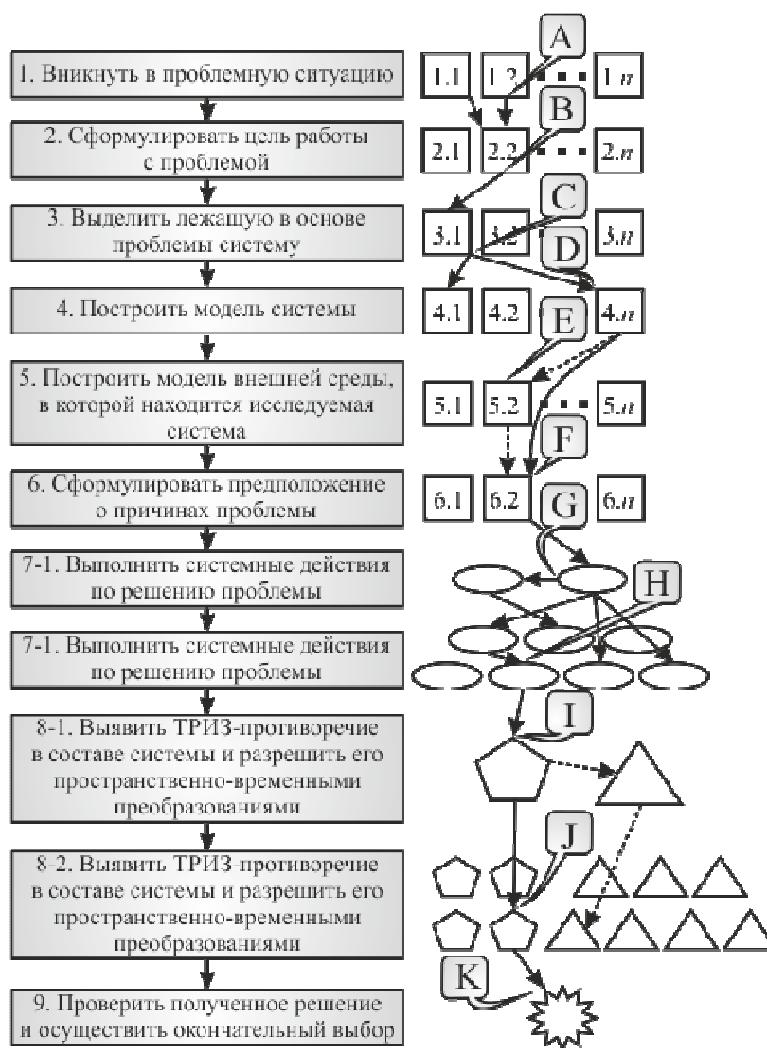


Рисунок 4. – Уточненное схематическое изображение последовательности действий при системном решении проблем

Что изменилось в представленной уточненной схеме?

1. У схемы появилась правая часть – изображения, содержание которых уже частично пояснялось при описании шагов анализа исходной ситуации и постановки цели. Как следует из анализа рисунка 4, разрастание схемы в ширину произошло практически на всех обозначенных шагах. Это означает, что на всех этих шагах возможно существование разных вариантов искомого решения.

2. Схема разрослась «в глубину». Формально это отображено путем выделения промежуточных шагов на шаге 7 – появились шаги 7-1 и 7-2, что предопределено описанной выше последовательностью работы с системными аспектами. Но на этом процесс разрастания схемы «в глубину» не заканчивается. Справа от этих шагов изображены овалы, количество которых соответствует количеству системных аспектов, включаемых в работу на каждом из них. Например, напротив шага 7-2 в правой части схемы стрелками показано, что переход от одного аспекта к другому может выполняться последовательно, в т.ч. путем задействования всех семи представленных аспектов, причем не ограничиваясь разовым обращением к одному и тому же аспекту. Аналогичная ситуация с шагом 8.

3. На схеме стрелками отображены варианты возможных последовательностей действий исследователя при решении задачи. В точках (или используя терминологию теории графов – вершинах), где последовательности действий могут ветвиться по типу логической связи «или» (связи типа «один к двум» или «один ко многим»), проставлены буквенные обозначения А-К, чтобы подчеркнуть тот факт, что здесь исследователь непосредственно в ходе работы над решаемой задачей должен давать ответы на ряд проблемных вопросов:

- вершина А. Какой вариант анализа исходной ситуации следует принять за отправную точку поиска решения? Здесь исследователю надлежит принять решение – какому варианту он отдаст предпочтение;

- вершина В. Какая первичная формулировка цели ближе всего к существу решаемой задачи? Здесь исследователю снова надлежит принять решение – какому варианту следует отдать предпочтение;

- вершина С. Здесь исследователю надлежит определить состав анализируемой системы. Вариантов опять множество. Где провести границу, отделяющую систему от окружающей среды? Внутри пространства, обрамленного границей, оказывается большое количество элементов. Какие из них являются базовыми? Что является входами и выходами именно для этой выделенной системы? В чем заключается взаимодействие системы с окружающей средой? Результат ответа на эти и схожие вопросы – принятое исследователем решение о составе анализируемой системы;

- вершина D. Какие элементы и связи являются существенными, а какие второстепенными? Какие элементы и связи следует включить в состав модели, а какими можно пренебречь? Итог – принятое исследователем решение о составе анализируемой модели;

- вершина Е. Работа с этой вершиной принципиально схожа с только что описанной работой в вершине С. Но на схеме между четвертым, пятым и шестым шагами последовательности работы стрелки показаны пунктирными, что свидетельствует о возможности взаимопереходов элементов из состава системы в окружающую среду и обратно. Итог этой работы – принятое решение о составе среды, окружающей анализируемую систему;

- вершина F. В этой вершине, исследователю предстоит определить ход всей дальнейшей работы над задачей. Ему необходимо увязать воедино свои мысли на предыдущих шагах, а также сделать прогноз, предположение о возможном будущем состоянии системы после устранения ее недостатков, которые и послужили толчком к началу работы над проблемой/задачей. Вследствие высокой неопределенности ситуации исследователю во многом приходится опираться на собственные знания и интуицию для определения направления дальнейшей работы. Здесь исследователю надлежит проявить свои способности к интуитивному предвидению, прогнозированию, а затем и к принятию решения. Здесь же замечу, что во всех ранее представленных вершинах А-Е, а также в описываемых далее вершинах G-К имеется место для проявления интуитивных способностей исследователя;

- вершина G. В этой вершине, исследователь выполняет системные действия элементного и структурного аспектов «Рекомендаций». Типовые вопросы: что менять? как менять? в каком диапазоне осуществлять изменения? каким изменениям отдать предпочтение? Здесь исследователь должен определиться с перечнем допустимых изменений элементов и связей анализируемой системы, а затем и с выбираемым им для дальнейшей работы вариантом;

- вершина H. При работе с семью системными аспектами «Рекомендаций», привязанными к этой вершине, объем одновременно обрабатываемой исследователем информации возрастает еще больше: необходимо оценить физическую совместимость результатов выполнения системных действий элементного и структурного аспектов с условиями задачи и содержанием анализируемых семи аспектов; рассмотреть преобразования, обеспечиваемые этими семью аспектами, в контексте первично поставленной цели – являются ли они совпадающими или хотя бы однонаправленными? Что можно менять в анализируемой системе, исходя из возможных преобразований в составе этих семи аспектов и т.д. Если попытаться обобщить все эти разнонаправленные векторы, то здесь исследователь должен работать с целью, анализировать допустимость предлагаемых им вариантов изменений системы и делать выбор предпочтительного варианта по некоторому, зачастую лишь интуитивно осознаваемому, критерию;

– вершина I. Пространственно-временные преобразования, привязанные к этой вершине, являются необходимыми для получения действительно сильного решения и одновременно способствуют росту количества вариантов преобразований системы для получения нового решения. Например, если оказываются возможными предусмотренные «Рекомендациями» и пространственные и временные преобразования – чему отдать предпочтение? На этом этапе исследователь снова вынужден осуществлять выбор;

– вершина J. В этой вершине происходит конкретизация варианта пространственных или временных преобразований с учетом выбора, осуществленного на предыдущем шаге I. Здесь снова появляются штриховые стрелки, которые демонстрируют вариативность выбора;

– вершина K. В правой части схемы (см. рисунок 4) эта вершина привязана всего лишь к одному квадрату, что порождает графическую иллюзию простоты действий исследователя. На самом деле в этой точке финализируется вся предшествующая работа, что опять же требует от исследователя: соотнести полученный результат и исходно определенную цель, получить количественное или качественное подтверждение соответствия одного другому; оценить качество собственного прогноза, предвидения, осуществленного на предыдущих шагах, и подтвердить правильность принятых решений в течение всей работы над проблемой/задачей. В случае выявления несоответствий будет производиться возврат к предыдущим шагам, вплоть до повторного анализа исходной ситуации. На этом же шаге производится увязка полученного решения с системой более высокого уровня, в интересах которой, собственно, и выполнялась работа. Если говорить о технических устройствах, то это в первую очередь привязка полученного творческого результата к проектно-конструкторским решениям.

Таким образом, развернутая структура системного поиска решения творческой задачи, представленная на рисунке 4, становится огромной, с большим количеством точек ветвления и изменения направлений работы, с возникновением циклов и т.д. Стоит заметить, что для сохранения воспринимаемости, читаемости схемы на ней изображены лишь некоторые из возможных вариантов переходов от шага к шагу по направлению стрелок. На самом деле все выглядит намного сложнее. На первый взгляд, такая структура трудна в освоении и, тем более, в практическом применении. Но это не так. Если подвергнуть анализу представленные выше описания действий, которые надлежит выполнить исследователю в обозначенных вершинах А-К, оказывается, что огромный массив преобразований системы сводится к ограниченной по размерам совокупности основных повторяющихся действий:

- системный анализ исходной ситуации;
- первичная постановка цели и последующая работа с ней вплоть до получения итогового решения;
- определение на системной основе перечня того, что может быть предметом преобразований в данной конкретной задаче;
- прогнозирование результатов каждого осуществляемого действия. Вследствие недостатка информации, высокой неопределенности решаемой задачи на многих этапах поиска решения надлежит обеспечивать совмещение прогнозирования и предвидения, осуществляемого на интуитивной основе;
- многократное выполнение процедуры принятия решения;
- совмещение на системной основе проектно-конструкторской деятельности и творческого поиска проектных решений.

Изложению представленных вопросов в контексте их сопряжения с «Рекомендациями» посвящена моя очередная книга, которая уже подготовлена издательством к печати под названием «ТРИЗ-идеи в системном изложении. Путь к творческому результату: целостное представление и пошаговый анализ». Безусловно, затронутые вопросы полностью не отражают всего многообразия поступков исследователя, совершаемых им при работе над проблемой/задачей. Вместе с тем они основа успешной работы.

Заключение. Разработка, совершенствование методологии творчества – само по себе творчество. Здесь нет проторенных дорог и каждый шаг в этом направлении – это очередная попытка нащупать правильный путь, сокращающий дорогу к эффективным новым решениям.

Мной представлен подход, основанный на развертывании, увеличении объема творческой процедуры через присоединение к ней дополнительных процессов и позволяющий получить следующий важный результат при движении в этом направлении. Впервые показано, что любой творческий процесс не ограничивается исполнением той или иной творческой процедуры. Неизбежно надлежит реализовать совокупность иных процессов, которые по сути являются ключевыми:

- выявлять рациональное направление работы при совершенствовании существующих или создании новых технических устройств;
- выполнять системный анализ исходной ситуации;
- правильно определять цели;
- прогнозировать будущий искомый результат;
- корректно встраивать интуитивные фрагменты в логически стройный процесс поиска решения;
- принимать правильные решения на каждом из этапов творческой работы;
- видеть перспективу встраивания получаемых решений в системы более высокого уровня, в первую очередь в проектные работы.

Если решающий задачу исследователь знает эти процессы и умело пользуется ими, то результат его творческой работы будет заметно качественнее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шимукович, П.Н. ТРИЗ-идеи в системном изложении: Практика / П.Н. Шимукович. – М. : ЛЕНАНД, 2019. – 360 с.
2. Шимукович, П.Н. ТРИЗ-противоречия в инновационных решениях: РН-метод / П.Н. Шимукович. – Изд. 4, стереот. – М. : ЛЕНАНД, 2018. – 216 с.
3. Шимукович, П.Н. У проблем есть решения! ТРИЗ-идеи в системном изложении / П.Н. Шимукович. – Изд. 2, испр. – М. : ЛЕНАНД, 2017. – 384 с.

Поступила 14.06.2021

LINKING CORE CREATIVE PROCEDURE AND COMPLEMENTARY PROCESSES AS A PREREQUISITE FOR THE EFFECTIVE GENERATION OF NEW IDEAS

P. SHIMUKOVICH

During the creative search for the solution of any problem the researcher, besides the implementation of the creative procedure available to him, inevitably works on a set of other processes, which coexist with it simultaneously and as if parallel and independent: he/she analyses the initial situation, sets certain goals, forecasts the desired final result, makes decisions repeatedly, correlates the result of creativity with its practical relevance, often determined by the project work in progress. But this is not the case: all these processes are most directly related to the main creative work and largely determine its effectiveness. The article shows how these processes can be linked with the author's recommendations for systematic problem solving.

Keywords: *creative search, creative work, problem, system solution, recommendations.*

УДК 620.184.4:623.43.038

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ
ИГЛА–КОРПУС РАСПЫЛИТЕЛЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*канд. техн. наук, доц. С.В. ПИЛИПЕНКО, канд. техн. наук, доц. О.П. ШТЕМПЕЛЬ,
канд. техн. наук, доц. В.А. ФРУЦКИЙ, В.В. КОСТРИЦКИЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Представлена технология ремонта форсунок дизельных двигателей. Рассмотрена конструкция форсунки, выделены наиболее ремонтпригодные части из изнашиваемых. Определено, что деталями форсунки, которые и разрушаются в первую очередь, и определяют работоспособность форсунки в целом, являются игла и корпус распылителя. Рассмотрены процессы, вызывающие изнашивание этих деталей форсунки. Замечено, что суммарный износ трибопары запорного конуса иглы форсунки и корпуса распылителя составляет 0,16–0,31 мкм, что приводит к увеличению подачи топлива на 3–7%. Предложенная технология восстановления работоспособности форсунки включает в себя операции разборки форсунки и очистки ее деталей, дефектовку деталей, операции нанесения покрытий и восстановления корпуса, механическую обработку, операции сборки и тестирования. Подробно рассмотрены рекомендации по восстановлению исходных размеров и механических свойств поверхностей иглы форсунки дизельного двигателя с учетом различных классов сталей. Испытания работоспособности восстановленных по данной технологии форсунок показали, что интенсивность износа восстановленных игл в отремонтированных форсунках имеет достаточно приемлемые для ее эксплуатации значения.

Ключевые слова: форсунка, отказ, распылитель, плунжер, износ, ремонт-восстановление, кавитация, трибосопряжение.

Введение. В последнее время во многих источниках, в т.ч. связанных с важными международными экономическими форумами, рассматриваются проблемы деградации окружающей среды и изменений климата, вызванные деятельностью человека. Обсуждаются вопросы важности продления сроков службы исчерпавших свой ресурс агрегатов, которые используются человеком. В [1; 3; 4] отмечена необходимость развития стратегий, отдающих предпочтение ремонтируемым изделиям. В связи с этим разработки технологий восстановления размеров и несущих способностей поверхностей деталей машин являются важными научно-техническими задачами, направленными в т.ч. на решение экологических проблем. При этом экономическую эффективность следует искать в сохранении экологических ресурсов планеты в целом.

Форсунки дизельных двигателей, по сути, являются ремонтируемыми изделиями. Из-за неправильно подобранного материала трибопар, неадекватной термообработки, некачественного топлива, содержащего повышенное количество серы и иные примеси, нередки случаи отказов отдельных конструктивных элементов форсунок и, как следствие, отказ всего двигателя [1–9]. Форсунку заменяют на новую, старую при этом отправляют в утиль. Однако часто работоспособность детали форсунки можно восстановить, и отремонтированная форсунка может прослужить срок, сравнимый со сроком службы новой форсунки. При этом расходы материалов, необходимых для такого типа ремонта, и его экологические последствия являются несравнимо более низкими, чем расходы на производство новой форсунки.

Детали, проблемы с которыми наиболее часто приводят к отказу форсунки дизельного двигателя, – игла и корпус распылителя; седло и шток клапана управления. Их интенсивное изнашивание наблюдается вследствие попадания абразивных частиц либо продуктов изнашивания в топливо или наличия процессов кавитационного изнашивания в присутствии большого перепада давления в камере сгорания двигателя. Все перечисленные процессы обуславливают как механическую составляющую изнашивания посредством микроцарапания твердыми частицами, присутствующими в топливе, так и кавитационные процессы, возникающие в процессе циклического прохождения топлива через отверстия в корпусе распылителя [2–9].

Цель работы – разработка технологии восстановления деталей соединения игла–корпус распылителя, исходных размеров и несущей способности поверхностей изношенной иглы форсунки дизельного двигателя.

Методы и материалы исследования. За основу исследования были приняты наконечники распылителей пьезоэлектрических и механических форсунок дизельных двигателей производства компаний BOSCH, DLLA Japan, DLLA Germani. Фотографирование и оценка геометрических параметров объектов проводились на комплексе Nikon EpiPhot 200BD; микротвердость структурных составляющих измеряли на установке Identamet 1106; химический состав материала определяли при помощи оптико-эмиссионного спектрометра Spectro Port PXC01; процесс имитации изнашивания образцов проводили на машине трения MMW-1A. Идентификация химических элементов осуществлялась при помощи программ Fe-40-MO, Fe-15-MO. Интерпретация марки материала – экспертным анализом. Нанесение покрытий – на установке «Булат-4 ТО».

Анализ условий эксплуатации. Дизельная форсунка работает в тяжелых условиях. Например, при частоте вращения выходного вала двигателя с механической системой впрыска 2000 об/мин игла распылителя

поднимается и садится на свое посадочное место 17 раз в секунду [10]. В силу конструктивных особенностей форсунки требуют к себе особого внимания и отношения, что порой затруднительно, учитывая место расположения форсунок и параметры их рабочей среды. Для соответствия их заявленных рабочих параметров эксплуатационным форсунки необходимо периодически проверять и обслуживать. Периодичность обслуживания дизельных форсунок колеблется для различных двигателей и в среднем составляет 100 тыс. км пробега.

Отказ форсунок приводит к некорректной работе дизельного двигателя автомобиля, о чем могут свидетельствовать следующие признаки [4; 9]:

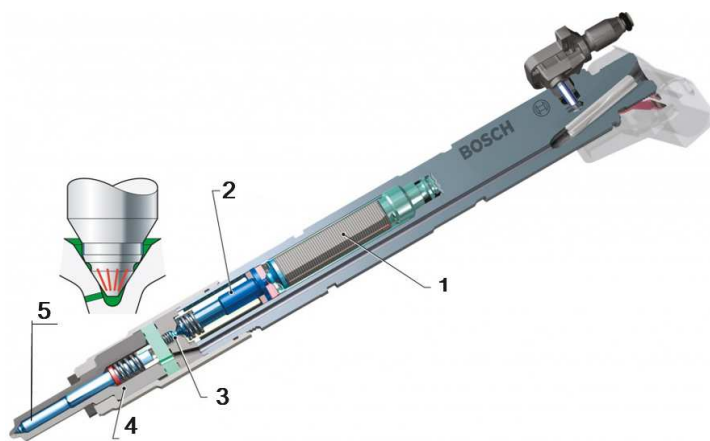
- появление белого дыма на холостом ходу либо черного при нагрузке, который сопровождается стуком в двигателе;
- потеря мощности двигателя при повышении нагрузки;
- повышение температуры отработавших газов;
- при увеличении нагрузки появляются рывки и провалы в работе двигателя;
- ухудшение запуска двигателя или двигатель вообще не запускается с помощью стартера;
- на холостых оборотах работа двигателя становится неустойчивой.

При наличии перечисленных признаков проводят компьютерное диагностирование системы питания. Если она показывает замыкание электрической цепи на форсунках, перебои в работе цилиндров, изменение цикловой подачи какой-либо из форсунок, то необходимо проверить в первую очередь техническое состояние топливных форсунок [4; 5; 9]. Отбраковка форсунок идет по целому перечню отказов и несоответствий (таблица 1), т.к. они все оказывают существенное влияние на работу двигателя. Неисправные форсунки, как правило, заменяют [2].

Таблица 1. – Возможный перечень дефектов форсунок дизельных двигателей и последствия для работы двигателя в целом

Дефекты	Причина	Возможные последствия
Выход из строя распылителя	распылитель теряет возможность удерживать топливо	появляется светлый дым на холостом ходу, который при нагрузке исчезает
Выход из строя иглы распылителя	игла теряет подвижность в закрытом положении	появляется черный дым при нагрузке, сопровождаемый стуком; автомобиль неравномерно работает на холостом ходу (данный дефект ощущается при небольших значениях давления в системе)

Конструкцию форсунки можно условно разделить на три части: управляющую, гидравлическую и исполнительную (рисунок 1) [9].



1 – пьезоэлектрический соленоид; 2 – промежуточный толкатель; 3 – клапан управления;
4 – корпус распылителя; 5 – игла распылителя [3]

Рисунок 1. – Конструкция форсунки с пьезоэлектрическим приводом фирмы BOSCH

В верхней части форсунки дизельного двигателя находится управляющий элемент, в средней – гидравлический цилиндр и клапан управления, в нижней расположены плунжер и распылитель [4; 9]. Сам распылитель состоит из двух частей: корпуса и иглы.

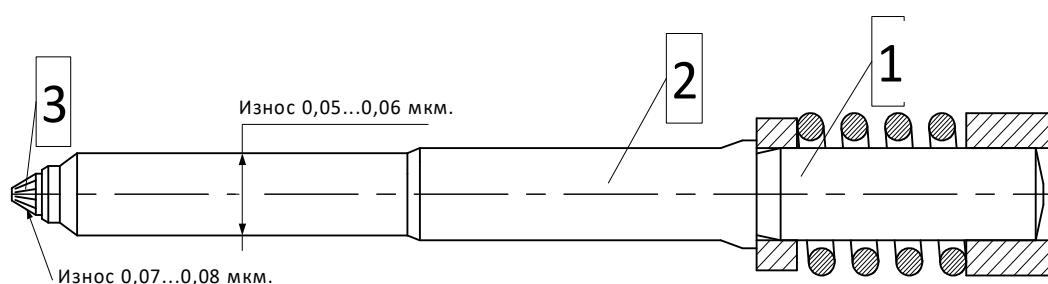
Результаты исследований. В существующих на данный момент литературных источниках особенностям ремонта форсунок дизельных двигателей уделяется недостаточное внимание, с нашей точки зрения.

В статье будут рассмотрены вопросы разработки технологии восстановления работоспособности исчерпавших свой ресурс деталей.

Основными деталями форсунки, которые подвержены отказам в первую очередь, являются игла и корпус распылителя [6–8]. Поскольку техническое состояние этих деталей непосредственно определяет работоспособность форсунок (а значит, и технико-экономические, и экологические показатели работы двигателя в целом), то вопросы контроля и восстановления технических параметров этих деталей имеют чрезвычайно важное значение.

В процессе эксплуатации рабочие поверхности распылителей форсунок подвергаются воздействию как разогретых цилиндрических газов, так и высоких значений рабочего давления топлива (характерных для систем Common Rail). Вследствие этих воздействий корпус распылителя получает тепловые и механические деформации, сопровождающиеся искривлением вертикальной оси. Запорный конус изнашивается, увеличивается ход иглы, что приводит к прорыву газов в полости распылителя, его закоксовыванию, сужению рабочих отверстий распылителя и уменьшению количества работающих отверстий.

Рассмотрим конструкцию иглы (рисунок 2) и выделим в ней наиболее ремонтпригодные части. В игле разные поверхности имеют различный износ, поскольку условия работы у каждой части сильно разнятся [12].



1 – верхняя прецизионная часть; 2 – направляющая часть; 3 – запорный конус

Рисунок 2. – Игла распылителя с величинами износа

Верхняя прецизионная часть 1 изнашивается вследствие циклического механического воздействия колец пружины с одной стороны и гидромеханического воздействия топлива. Величина износа, как правило, составляет 0,001–0,005 мм. В результате такого изнашивания цилиндрическая поверхность приобретает коническую вогнутую форму [4; 6; 12]. А износ седла иглы приводит к изменению положения в отверстии корпуса распылителя и нарушению геометрических параметров выхода топлива, что влияет на регулировочные параметры выходного факела.

В направляющей части 2 износ выражен менее всего, поскольку на эту часть воздействует только гидромеханическая составляющая топливного потока [6; 12]. При длительной эксплуатации форсунок установлены неравномерные износы направляющей части поверхности корпуса распылителя и поверхности иглы, а также уплотнительных конусов иглы. В нижней части направляющей кроме гидромеханического изнашивания появляются напряжения, связанные с осевыми нагрузками от механического воздействия и, одновременно, уменьшением зазоров между корпусом и иглой. В результате нарушается плотное прилегание иглы, что приводит к повышенному износу этой части, вызывающему нечеткую отсечку подачи топлива, протекание сопла и в последующем его закоксовывание.

В запорном конусе 3 и прилегающей части изнашивание идет вследствие гидромеханического воздействия топлива, периодических кавитационных воздействий и пластического деформирования тела иглы из-за частых взаимодействий с корпусом распылителя [4; 12].

Наиболее целесообразно восстанавливать именно поверхности запорного конуса 3 и направляющей части 2.

Рассмотрим процессы, вызывающие изнашивание поверхностей иглы. На запорный конус действует постоянная нагрузка со стороны пружины. Металл под действием совокупных нагрузок подвергается поверхностному упрочнению [12]. Поверхность его уплотняется и приобретает ориентацию по оси иглы; в металле наблюдаются усталостные явления, а при температурных рабочих воздействиях (300–500 °C) явления релаксации. Под воздействием циклических нагрузок на поверхности могут образовываться микротрещины и деформационные напряжения. При этом на состояние рабочей поверхности большое влияние оказывают кавитационные процессы.

Процессам кавитационного износа посвящен ряд работ [14; 15]. Однако особенности процесса применительно к данным условиям можно описать следующим образом: при прохождении потока топлива по узкому каналу – зазору между корпусом распылителя и иглой – его скорость возрастает. При этом скорость будет возрастать до тех пор, пока давление в системе подачи топлива не снизится вследствие открытия отверстий распыления. При этом резкий перепад давления в сторону снижения заставляет остатки жидкости в корпусе распыли-

теля вскипать, выделяя пузырьки. Таким образом, максимальная скорость зависит от давления на входе рампы, создаваемого топливным насосом высокого давления. Когда жидкость покидает форсунку, скорость снижается, а давление наоборот начинает расти. Кипение жидкости прекращается, паровые пузырьки взрываются – в этом случае на запорный конус будут действовать процессы кавитации плюс температурные деформации, а также знакопеременное осевое давление [12].

В действительности давление, при котором начинается кавитация, существенно зависит от физического состояния жидкости. В нашем случае жидкость содержит большое количество растворенного воздуха, поскольку при транспортировке и доставке топлива к потребителю топливо подвергается перекачке несколько раз через трубы разного диаметра. И в конечном пункте выдачи топливо поступает в систему питания автомобиля через заправочный пистолет, который при заправке создает турбулентный поток, насыщаемый большим количеством воздуха.

Однако при прохождении топлива по системе питания автомобиля происходит уменьшение давления, которое приводит к выделению воздуха из жидкости и образованию газовых полостей, в которых давление выше, чем давление насыщенных паров жидкости. При наличии в жидкости микропузырьков кавитационные явления могут возникать при давлениях, превышающих давление насыщенного пара. Из-за кавитации, а также высокой скорости потока жидкость оказывает сильное механическое действие на корпус и иглу распылителя, что наряду с загрязненностью топлива твердыми частицами и продуктами механического износа вызывает повышенное изнашивание как прецизионной части иглы, так и запорного корпуса распылителя. Причем износ запорного конуса существенно больше износа направляющей поверхности.

Вместе с тем в моменты кавитационного воздействия топливо вместе с абразивом вырывает отдельные частицы и упрочняет поверхность иглы [12]. Также упрочнение происходит в момент жесткого соприкосновения иглы с корпусом распылителя. При этом на иглу действуют как осевые, так и тангенциальные силы, что еще больше упрочняет поверхность запорного конуса. Об этом косвенно может свидетельствовать повышение твердости иглы вследствие локального наклепа.

Отсутствие пиковых значений твердости после восстановления, с нашей точки зрения, связано с процессами рекристаллизации и снятия внутренних напряжений, проходящих при нанесении покрытий. Выравнивание значений твердости после обработки также может косвенно свидетельствовать о возможных явлениях наклепа при длительной эксплуатации. При этом наиболее ярко явления выражены на расстоянии до 100 мкм от запорного конуса (рисунок 3).

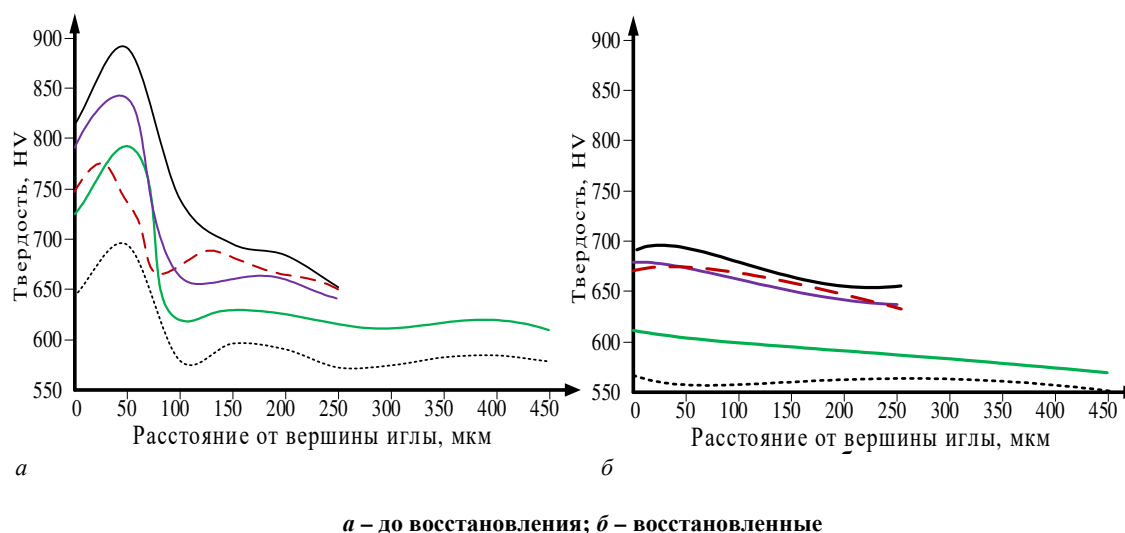


Рисунок 3. – Изменение твердости иглы в зависимости от расстояния от вершины

При длительной эксплуатации внешние поверхности, прилегающие к запорному конусу, подвергаются деформации под влиянием ряда факторов: осевого давления пружины, ударного воздействия запорного конуса и действия потока топлива. На расстоянии до 50 мкм вследствие искривления продольной оси и воздействия ударных нагрузок наблюдаются явления наклепа, о чем косвенно свидетельствует рост твердости на исследуемых образцах. При восстановлении иглы проходили явления рекристаллизации и снятия накопившихся напряжений. Пиковые значения на поверхностях иглы отсутствовали.

Под воздействием вышеуказанных явлений поверхность запорного конуса иглы изнашивается неравномерно: большие значения износа (0,07–0,08 мм) наблюдаются в средней части, меньшие (0,055–0,06 мм) – в нижней. Это объясняется наличием в средней части помимо кавитационного воздействия еще и циклических упругих деформаций, способствующих микродеформированию верхней части форсунки [2; 6; 12]. Износ запор-

ной части нарушает герметичность посадки иглы, в результате чего газы из камеры сгорания прорываются внутрь распылителя, что способствует с одной стороны локальному повышению давления в этой части, с другой – большому искажению вертикальной оси иглы как от дополнительного нагрева, так и от увеличившегося давления в момент удара о корпус распылителя. Эти явления ведут к деформации запорной части иглы и могут привести к закоксовыванию отверстий корпуса с внутренней стороны, а затем, при уменьшении общего диаметра отверстия, к началу закоксовывания и с внешней стороны распылителя.

Суммарный износ трибопары запорного конуса и корпуса распылителя составляет по разным данным 0,16–0,31 мкм [12], что приводит к увеличению подачи топлива на 3–7%.

На запорном конусе иглы (рисунок 4) напротив распылительных отверстий часто обнаруживается либо выгорание, либо истирание металла. Из-за этого распылитель будет выдавать увеличенные дозы топлива в момент, когда выгоревшие участки на игле окажутся напротив отверстий, что негативно сказывается на работе двигателя [2; 4; 6; 12].



Рисунок 4. – Следы истирания и выгорания металла на игле распылителя

Анализ способов восстановления работоспособности трибосопряжения плунжер–корпус показал принципиальные различия в подходах к восстановительным технологиям для иглы и корпуса.

При рассмотрении возможностей восстановления корпуса изначально необходимо очистить распылительные отверстия от нагара. Для этого на первом этапе проводится разрыхление нагарных масс путем нагрева корпуса выше 70 °С с последующим помещением детали в ультразвуковую ванну с жидкостью, имеющей повышенную проникающую способность. Затем рекомендуется продувка с последующей промывкой корпуса. Промывку следует производить жидкостью под большим давлением.

Наиболее перспективным является восстановление геометрических параметров иглы и подгонка их характеристик под индивидуальные посадки в корпус распылителя. На рисунке 5 показана предлагаемая схема технологии ремонта соединения игла–корпус форсунки дизельного двигателя с восстановлением исходных размеров и несущей способности поверхностей изношенных игл.

На первой стадии следует разобрать форсунку, произвести чистку ультразвуком в ванне с применением средства с повышенной проникающей способностью. Вторая стадия заключается в дефектации составляющих деталей форсунки и замеры линейного износа рабочих поверхностей. Кроме того, здесь же производится сортировка деталей по группам для возможного дальнейшего восстановления. На третьем этапе необходима более глубокая очистка.

Четвертая стадия – наиболее ответственная – восстановительная операция. Поверхности восстанавливаются методом нанесения определенных для каждой марки стали покрытий с учетом дальнейшей обработки. После нанесения покрытий следуют операция контроля их качества, обработка восстановленных поверхностей, затем ряд операций обработки рабочих поверхности под исполнительные размеры. После механической обработки проводят еще одну контрольную операцию. Здесь контролируют линейные размеры деталей, которые должны быть равны необходимым исполнительным. Последними следуют операции притирки. Используя селективную сборку, окончательно собирают форсунку и проверяют ее работоспособность.

Рассмотрим особенности проведения четвертой операции (нанесение покрытий) на примере восстановления механических характеристик и исходных размеров игл. Для производства игл используется целый ряд возможных материалов, для которых необходимо использовать разные технологии восстановления. В таблице 2 приведены рекомендации к восстановлению исходных размеров и механических свойств игл из сталей различного типа.

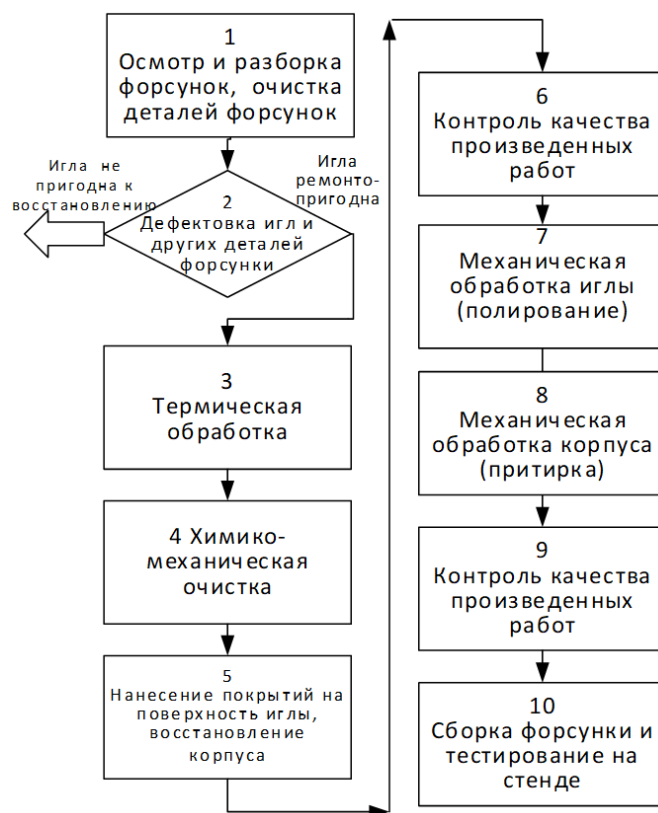


Рисунок 5. – Схема технологии ремонта форсунки дизельного двигателя

Таблица 2. – Рекомендуемые методы восстановления исходных размеров и механических свойств поверхностей из различных классов сталей

Материал, класс, представитель	ВКН	Азотирование	Гальваника	Лазерная модификация	ФАБО	Электроискровое легирование	Физико-механические характеристики
Р9	+	+	+/-	+	+/-	+	1
	+	+	+/-	+	–	+	2
	+	+	?	+	–	+	3
	+	–	+	+/-	+/-	+/-	4
18Х2Н3А	+	–	+/-	+	+/-	+	1
	+	–	+/-	+	–	+	2
	+	–	+	+	?	+	3
	+	–	+	+/-	–	+/-	4
ХВГ	+	+/-	+/-	+	+/-	?	1
	+	+/-	+/-	+	–	+	2
	+	+/-	+	+	?	+	3
	+	–	+	+/-	–	+/-	4

Примечание: 1 – повышение износостойкости; 2 – повышение твердости; 3 – работоспособность при повышенных температурах; 4 – возможность восстановления размеров, формы; ? – необходимы дополнительные исследования; + – уверенно «Да»; +/- – проблематично; – – уверенно «Нет».

Для восстановления поверхностей игл из сталей типа Р9 необходимо использовать азотирование в сочетании с лазерным модифицированием рабочих поверхностей. По литературным данным неплохие результаты для данного класса сталей отмечаются для вакуумно-конденсационного напыления (ВКН) с применением установки типа «Булат». Рекомендуемым материалом для покрытий может служить нитрид титана.

Для восстановления поверхностей игл из сталей типа 18Х2Н3А целесообразны цементация с последующей закалкой при изготовлении детали и при проведении восстановительных работ с применением селективной сборки. При применении ремонтных технологий для восстановления размеров и получения поверхностной твердости порядка 55–60 HRC рекомендуется применения гальванотехнологий, в частности нанесение твердого хрома. Достаточные показатели для данного класса материалов получены при применении технологии финишной антифрикционной безабразивной обработке (ФАБО) с нанесением латунного покрытия [13]. Также зарекомендовало электроискровое нанесение материала, однако при его применении возникали некото-

рые трудности с применением оснастки для сохранения неподвижной горизонтальной оси иглы, поскольку геометрические размеры детали не предусматривают протяженных технологических баз.

Износ рабочей поверхности запорного конуса и поверхности направляющей незначительный, поэтому можно применять процессы восстановления, связанные с образованием дополнительных упрочняющих фаз. Наилучшие результаты выявлены при азотировании материала. При этом в выявленной зоне упрочнения материала наличие нитридов, входящих в состав эвтектик, способствует как приработке трибосопряжения, так и минимальным показателям износа при режиме установившегося износа. Данный эффект объясняется тем, что азотирование материала проходит при температурах 560–580 °С. В зоне выявленного поверхностного наклепа происходит снятие скопившихся напряжений и рекристаллизация структуры материала поверхностного слоя. Таким образом, указанные явления и наличие нитридов в поверхностном слое, показывающих наибольшую стойкость при рабочих температурах 500–600 °С, могут объяснить минимальные значения износа трибопары при такой технологии восстановления.

Стали класса ХВГ рекомендуется подвергать как ВКН, так и лазерному модифицированию с последующим полированием сопрягаемых поверхностей.

После восстановительных операций необходима механическая обработка. В одном случае это будет шлифование/полирование, в случае с нанесением минимальной толщины материала должна быть предусмотрена притирка деталей. После механической обработки для каждой трибопары следуют предусмотреть прецизионную сборку.

В различных литературных источниках указаны различные параметры износа деталей, восстановленных данными методами [13; 16]. Однако, с нашей точки зрения, следует рассматривать не износ отдельной детали, сколько бы он ни был мал, а износ трибосопряжения в целом. Для трибопар в данных условиях эксплуатации это обширное поле исследовательской деятельности.

Заключение. Отмечена важность развития стратегий, отдающих предпочтение ремонтируемым изделиям. Замечено, что в существующих на данный момент литературных источниках особенностям ремонта форсунок дизельных двигателей уделялось недостаточно внимания, хотя данный элемент дизельного двигателя вполне ремонтпригоден. При рассмотрении конструкции форсунки выделены наиболее ремонтпригодные детали из изнашиваемых. Основными деталями форсунки, которые и разрушаются в первую очередь, и определяют работоспособность форсунки в целом, являются игла и корпус распылителя. Проанализированы процессы, вызывающие изнашивание поверхностей этих деталей. Замечено, что суммарный износ трибопары запорного конуса иглы форсунки и корпуса распылителя составляет от 0,16–0,31 мкм. Это приводит к увеличению подачи топлива на 3–7%, что негативно влияет как на экономические факторы, связанные с вопросами эксплуатации машины, так и на окружающую среду.

Для увеличения срока эксплуатации трибосопряжения плунжер–игла–корпус можно использовать технологические приемы восстановления линейных размеров и физико-эксплуатационных параметров деталей, входящих в сопряжение. При анализе способов восстановления работоспособности трибосопряжения плунжер–корпус–игла пришли к выводам о принципиальном различии в подходах к восстановительным технологиям для иглы и корпуса. Предложены технологии восстановления работоспособности форсунки, включающие операции разборки форсунки и чистки ее деталей, дефектовку деталей, термохимико-механическую обработку игл и корпусов форсунки, операции нанесения покрытий и ремонта корпуса, механическую обработку восстановленных поверхностей, операции контроля качества, сборки и тестирования. Приведены рекомендации по восстановлению исходных размеров и механических свойств поверхностей иглы форсунки дизельного двигателя с учетом различных классов сталей.

Восстановление иглы распылителя зависит от марки материала и состояния рабочих поверхностей на момент ремонта.

Для материала типа 18Х2Н3А наилучшие результаты получены при применении азотирования и методов ВКН. Это объясняется максимальной стойкостью нитридов при рабочих температурах 500–6000 °С и их способностью к подстройке к структуре материала сопряженной детали, что может быть связано с наличием малоизнашивающегося нитрида титана в поверхностном слое. Он создает локальные очаги с достаточной твердостью, и при этом его толщина позволяет материалу основы выступать в роле демпфера. Таким образом, на поверхности получаем структуры Шарпи II рода, что положительно сказывается на износостойкости трибосопряжения в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schwab, K.M. COVID-19: The Great Reset / K.M. Schwab, T. Malleret // 2020 World Economic Forum. Forum publishing. – 2020 – 212 p.
2. Трелин, А.А. Основные показатели технического состояния форсунок – давление начала впрыска, качество распыливания топлива, герметичность и пропускная способность / А.А. Трелин, К.В. Трелина // Тр. ГОСНИТИ. – 2007. – Т. 99. – С. 61–63.
3. Piezo-Injektoren [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.audi-technology-portal.de/de/antrieb/tdi-motoren/piezo-injektoren/?c=image:506>.

4. Топливные дизельные форсунки: принцип работы и слабые места [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ukrautoportal.com/bok/how/engine/dizelnyy-dvigatel/3533-toplivnye-dizelnye-forsunki-principraboty-i-labye-mesta.html>.
5. Cookies, V.S. Stabilizaciya regulirovочnyh nyhpara metrov forsunokforsirovannyhdizelej [Stabilization control parameters nozzles forced diesel engines] / V.S. Cookies, V.A. Romanov // Tr. International Forum on the issues of science, technology and education. – Moscow : Academy of Earth Sciences, 2005. – P. 110–111.
6. Зеленихин, А.И. Исследование процесса коксования сопловых отверстий распылителей при работе дизеля на бензодизельной смеси / А.И. Зеленихин. – Л. : ОНТИ ЦНИТА, 1966. – Вып. 29. – С. 6–12.
7. Кукис, В.С. Стабилизация регулировочных параметров форсунок форсированных дизелей / В.С. Кукис, В.А. Романов // Тр. Междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. – М. : Акад. наук о земле, 2005. – С. 110–111.
8. Лаврик, А.Н. Анализ факторов, влияющих на закоксовывание сопловых отверстий распылителей топливных форсунок дизелей / А.Н. Лаврик, А.С. Теребов, В.Е. Лазарев // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин. – Челябинск : ЧВАИ, 2001. – С. 31–37.
9. Дизельные аккумуляторные топливные системы CommonRail : [пер. с нем.]. – М. : За рулем, 2009. – 354 с. – (Автомобильные технологии).
10. Неисправные форсунки и их влияние на работу дизельного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dizonika.ru/neispravnyie-forsunki-i-ix-vliyanie-na-rabotu-dizelnogo-dvigatelya.html>.
11. Kyshchun, V. Operability loss causes for diesel fuels spray nozzle with piezoelectric driver / V. Kyshchun, L. Nesterenko // Наукові нотатки. – 2018. – № 62. – С. 137–139.
12. Кишун, В.А. Методи діагностування дизельних паливних форсунок ізпьєзоелектричним приводом / В.А. Кишун, Л.В. Нестеренко // Наукові нотатки. – 2018. – № 61. – С. 77–82.
13. Шумов, О.В. Повышение эксплуатационных свойств защитных покрытий / О.В. Шумов // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения : сб. науч. тр. / под ред. П.А. Витязя. – Минск : Технопринт, ПГУ, 2001. – С. 394–397.
14. Суслов, Д.А. Контроль, испытания и диагностика узлов трения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д.А. Суслов, Д.Б. Колмогорцев, О.А. Горленко. – Брянск : Изд-во Брян. гос. техн. ун-та, 2005. – 113 с.
15. Восстановление деталей машин и оборудования [Электронный ресурс] / В.А. Скрыбин [и др.]. – Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/210618>.
16. Кутыков, А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия / А.А. Кутыков. – М. : Машиностроение, 1976. – 152 с.

Поступила 04.05.2021

RESTORING THE FUNCTIONALITY OF THE “NEEDLE-BODY” CONNECTION OF THE DIESEL ENGINE NOZZLE SPRAYER

S. PILIPENKO, O. SHTEMPEL, V. FRUTSKIY, V. KOSTRITSKIY

The paper deals with the development of technology for repairing diesel injectors. The design of the nozzle is considered, the most repairable parts of the wearing parts are identified. It was determined that the parts of the nozzle that are destroyed in the first place and determine the operability of the nozzle as a whole are the needle and the nozzle body. The processes causing wear of these parts of the nozzle are considered. It is noticed that the total wear of the tribo-pair of the locking cone of the nozzle needle and the atomizer body is from 0.16–0.31 microns. This leads to an increase in fuel supply by 3–7%, which negatively affects both the economic factors associated with the operation of the machine and the issues of negative technogenic impact on the environment. The proposed technology for restoring the working capacity of a nozzle includes the operation of disassembling the nozzle and cleaning its parts, troubleshooting of parts, etching of the needles and nozzle bodies, the operation of coating and repairing the body, machining, assembly and testing operations. Recommendations for restoring the original dimensions and mechanical properties of the surfaces of the nozzle needle of a diesel engine are considered in detail, taking into account various classes of steels. The performance tests of the injectors restored using this technology have shown that the wear rate of the restored needles in the repaired injectors is quite acceptable for its operation.

Keywords: nozzle, failure, sprayer, plunger, wear, repair-restoration, cavitation, tribo-coupling.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 331.45; 519.178

ПРОГРАММА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

В.А. ДРОНЧЕНКО, Т.С. СТРУК, канд. физ.-мат. наук, доц. О.В. ГОЛУБЕВА
(Полоцкий государственный университет)

Дана оценка уровня использования промышленных отходов, сбора отработанных масел. Предложен технологический процесс переработки и утилизации жидких нефтесодержащих отходов, в основе которого лежит приготовление эмульсии типа «вода в масле» при помощи пневматического излучателя с последующим использованием последней в качестве добавки к основному топливу, сжигаемому в котельных. Представлены алгоритм поиска оптимального технологического процесса термической утилизации нефтесодержащих отходов, основанный на применении теории графов, который включает два этапа: поиск длины кратчайшего пути и его построение, а также компьютерную программу, автоматизирующую данный процесс.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, охрана труда, защита окружающей среды, утилизация, поиск оптимального технического решения, динамическое программирование.

Введение. Сохранение жизни и здоровья населения, защита окружающей среды – важные направления социально-экономической политики Республики Беларусь. Негативным фактором деятельности производственных предприятий является рост опасных, загрязняющих окружающую среду, токсичных отходов. В стране в 2018 г. было использовано 20 106 тыс. т производственных отходов, что составило 33,1% от объема образовавшихся соответствующих отходов, в 2019 г. – 18 433 тыс. т и 30,3% соответственно [1]. Масса таких отходов при сохранении нынешних темпов увеличения через четверть века превысит 2 млрд т, что создаст огромную потенциальную угрозу для окружающей среды, несмотря на соблюдение всех нормативно установленных правил хранения и захоронения.

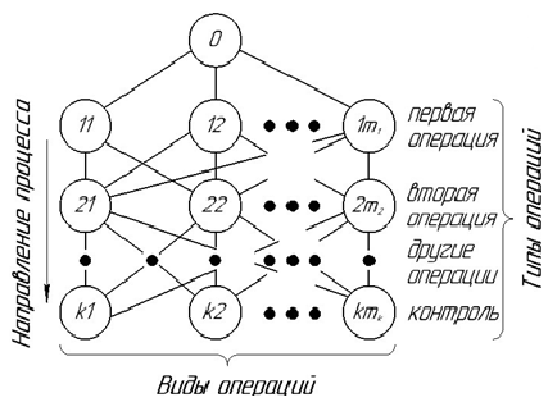
Следует отметить наметившуюся положительную тенденцию со сбором отработанных масел: в 2018 г. было собрано 16,8 тыс. т отработанных масел, в 2019 г. 18,2 тыс. т [1]. Однако учитывая то, что в стране ежегодно потребляется более 100 тыс. т промышленных и автомобильных масел, это не может считаться хорошим результатом. Если представить, что весь объем несобранных отработанных масел попадет в подземные и грунтовые воды, то он сможет загрязнить сотни миллиардов кубических метров питьевой воды до ПДК, а при пересчете на ПДК для почвы – порядка полутора миллиардов тонн почвы будут непригодны для использования по сельскохозяйственному назначению.

Минимизации рисков возникновения таких экологических опасностей можно достичь путем разработки технических решений по утилизации конкретных отходов, что и составляет актуальность представленной работы, направленной на поиск приемлемого решения утилизации нефтесодержащих отходов (НСО) участка по разборке и очистке технологического оборудования. В Полоцком государственном университете разработана технология переработки и утилизации жидких нефтесодержащих отходов [2–4], на примере которой показаны возможности разработанной программы поиска оптимального технологического процесса утилизации НСО.

Основная часть. В разработанном технологическом процессе могут быть использованы только те отходы, которые согласно [5] возможно использовать в качестве добавки к основному топливу, сжигаемому в котельных. Среди жидких отходов, образующихся во вспомогательном производстве нефтехимического комплекса, это:

- масла: моторные отработанные (код отхода – 5410202), дизельные отработанные (5410203), промышленные отработанные (5410205), трансмиссионные отработанные (5410206), загрязненные окалиной и шлаком (5411200);
- загрязненные мазуты и топливо (5410800);
- средства охлаждения и смазки (5440100);
- смесь нефтепродуктов отработанных (5412300);
- отходы от моечных машин, содержащие масла (5440901);
- некоторые другие жидкие отходы, содержащие углеводороды.

Предложен метод поиска и обоснования технических решений, связанных с охраной труда и защитой окружающей среды с учетом ограничений по безопасности и производительности труда, качеству продукции, требованиям охраны окружающей среды, отличающийся оценкой риска от использования решения, комплексностью и универсальностью [6; 7]. Выбор безопасного и эффективного технологического процесса (устройства) основан на представлении различных сочетаний операций (механизмов), составляющих этот процесс (устройство) в виде графа с помощью морфологического анализа, и поиске оптимального варианта с использованием динамического программирования [8]. Применительно к выбору оптимального технологического процесса (рисунок 1), каждый горизонтальный ряд вершин графа – подмножество технологических операций одного типа. Модель рассматривает все технологические операции, как реально существующие, так и потенциально возможные, которые могут быть использованы в процессе с учетом установленных ограничений. Потенциальное количество вариантов решения определяется как произведение $m_1 \times m_2 \times \dots \times m_k$, но несовместимость некоторых частей решения друг с другом сокращает их число.



1, 2, ..., k – типы операций; $m_1, m_2, \dots, m_k$ – количество видов операций каждого типа

Рисунок 1. – Схема графа вариантов безопасного технологического процесса

Оптимизация технического решения заключается в следующем: из числа возможных типов и видов, составляющих процесс, находят такую их последовательность, которая обеспечивает установленные ограничения по безопасности и производительности труда с наименьшими затратами. На стадии структурного синтеза преимущество отдают новым техническим решениям. Наилучшее решение выявляется в результате поиска кратчайшего пути из вершины 0 в одну из вершин нижнего яруса графа, при этом подмножество вершин определяет соответствующую структуру процесса или оборудования.

Для автоматизации процесса поиска оптимального технического решения разработан программный продукт, основанный на алгоритме Дейкстры (нахождения кратчайшего пути), с применением объектно-ориентированного языка программирования C#. Все вершины, дуги, узлы и другие элементы графа отображены с помощью межплатформенной среды разработки Unity.

В морфологической матрице операций процесса утилизации НСО путем использования их в качестве добавки к основному топливу, сжигаемому в котельных [6; 7], тип операций обозначен арабской цифрой, а вид операций – строчной буквой русского алфавита. Для исключения влияния инфляции затраты на 1 т НСО, связанные с выполнением каждой операции, представлены в долях от денежной базовой величины (БВ). Разрабатываемый технологический процесс состоит из семи типов операций:

- 1 – накопление (возможные виды операций: 1a – непрерывное, 1в – прерывное);
- 2 – разделение воды и углеводородсодержащих отходов (2a – отстаиванием, 2в – центрифугированием);
- 3 – эмульгирование отходов (3a – ударными волнами, получаемыми при помощи пневматического излучателя, 3в – растированием);
- 4 – предварительный подогрев эмульсии в емкости для хранения (4a – электрический, 4б – паровой, 4в – огневой);
- 5 – нагрев эмульсии перед подачей в дозатор (5a – электрический, 5б – паровой, 5в – огневой);
- 6 – подача утилизируемой эмульсии в дозатор (6a – эжекцией, 6в – насосом);
- 7 – сжигание утилизируемой эмульсии (7б – огневое).

Основными классами данной программы являются: класс контроллера графа (class GraphController : MonoBehaviour), классы вершин (class Node : MonoBehaviour) и дуг (class Line : MonoBehaviour) графа. Эти классы расширяют класс MonoBehaviour, поэтому их можно использовать как компоненты для объектов графа.

В классе контроллера графа (рисунок 2) имеется поле (graphPrefab), необходимое для создания объектов графа, использующее доступ к компоненту позиционирования – transform.

```

1: public class GraphController : MonoBehaviour
2: {
3:     private void Awake()
4:     {
5:         if (transform.childCount != 0)
6:         {
7:             Debug.LogWarning("Warning, using debug setting,
8:                 remove the child object");
9:         }
10:        else
11:        {
12:            Instantiate(graphPrefabs[Data.Instance.currentGraph],
13:                transform);
14:        }
15:    }
16: }

```

Рисунок 2. – Класс контроллера графа (метод Awake)

Создание экземпляра объекта графа осуществляется методом Instantiate. Это общедоступный метод, полученный из класса object, от которого неявно наследуется MonoBehaviour. Метод Instantiate клонирует любой объект и добавляет его на сцену. В качестве аргумента данный метод принимает любой объект, существующий в Unity. Таким образом, после указания в качестве аргумента graphPrefabs граф появляется на сцене (рисунок 3).

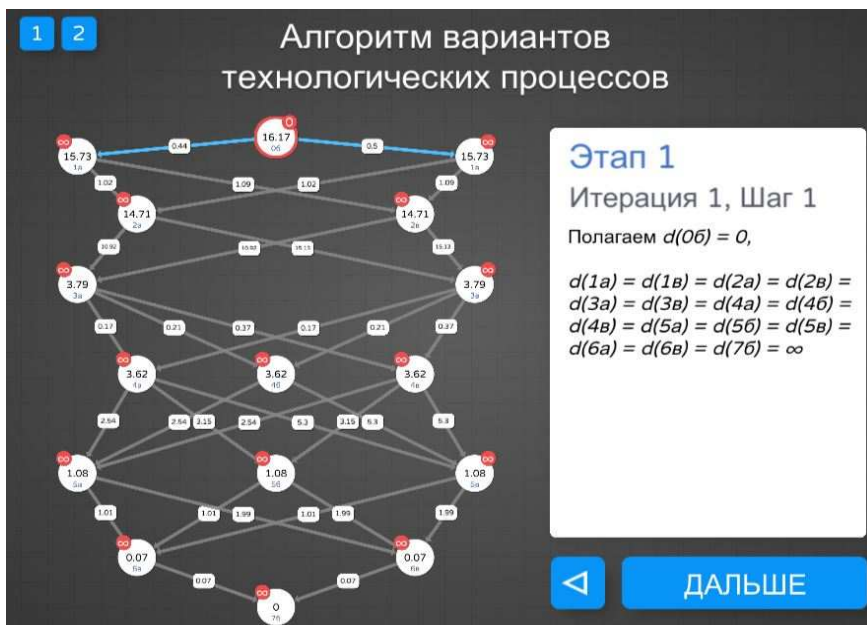


Рисунок 3. – Главное окно программы поиска оптимального технологического процесса

Сам алгоритм поиска оптимального технологического процесса включает два этапа расчетов.

На первом этапе идет поиск длины кратчайшего пути от 0 до 7 (рисунок 4), которая в исследуемом технологическом процессе выражается в БВ. Результаты расчетов, проведенных с использованием программы (рисунок 4, итерация 12, шаг 3; рисунок 4, итерация 12, шаг 4), показали, что минимальные затраты на утилизацию 1 т НСО равны 16,17 БВ.

На втором этапе устанавливается сам кратчайший путь (рисунок 5).

Из результатов расчетов, проведенных с использованием программы (рисунок 5, итерация 7, шаг 6), получен наиболее оптимальный технологический процесс утилизации НСО (программа выделила его дугами красного цвета). Он состоит из следующих операций: непрерывный процесс накопления углеводородсодержащих отходов; разделение воды и углеводородсодержащих отходов отстаиванием в емкости для сбора жидких углеводородсодержащих производственных отходов; приготовление эмульсии на основе отстоявшихся углеводородсодержащих производственных отходов с применением для генерации ударных волн пневматического излучателя; предварительный подогрев эмульсии в емкости для хранения трубчатым электронагревателем; нагрев эмульсии непосредственно перед подачей в дозатор трубчатым электронагревателем; подача утилизируемой эмульсии в дозатор эжекцией; предварительный и основной нагрев материала (электрический); сжигание утилизируемой эмульсии в топке котла.



Рисунок 4. – Этап 1 (поиск длины кратчайшего пути)

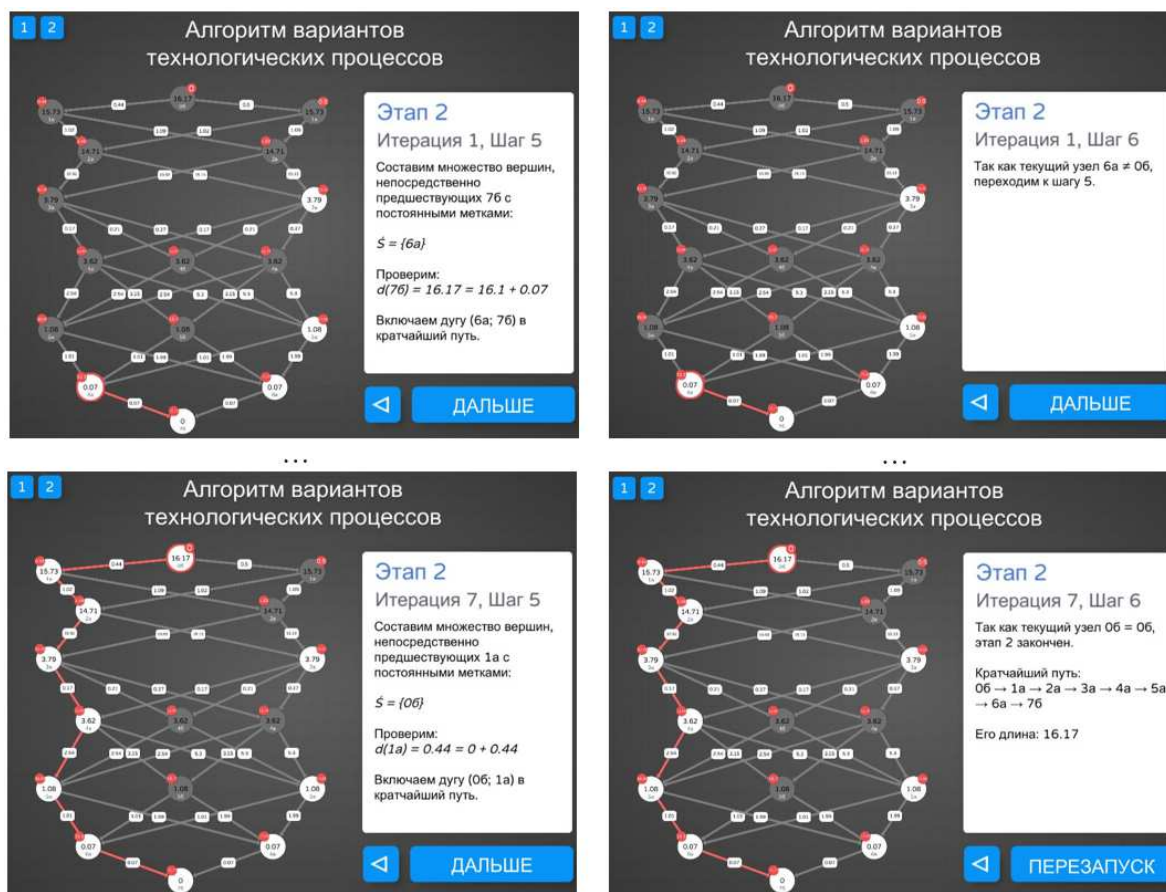


Рисунок 5. – Этап 2 (построение кратчайшего пути)

Закключение. На основании проведенных исследований теоретических и экспериментальных данных предложены алгоритм и программа разработки процесса утилизации нефтесодержащих отходов. Полученные результаты могут быть использованы:

- для разработки и оптимизации других технологических процессов утилизации жидких углеводородсодержащих отходов, например, путем приготовления на их основе эмульсии, используемой в качестве антиадгезионного покрытия форм при производстве железобетонных изделий [6; 9];
- обработки массивов данных, содержащих большое количество типов и видов операций, что позволит автоматизировать процесс оптимизации технических решений в различных отраслях промышленности;
- получения технических решений, учитывающих ограничения по нормативным требованиям безопасности труда, охраны окружающей среды, с наименьшей себестоимостью технологического процесса производства различной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2020. – 204 с.
2. Дронченко, В.А. Защита окружающей среды от вредного воздействия отработанных растворов, образующихся при погружной очистке машин и деталей / В.А. Дронченко, В.И. Семенов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 194–199.
3. Иванов, В.П. Утилизация нефтесодержащих сточных вод эмульгированием и сжиганием / В.П. Иванов, В.А. Дронченко, Т.В. Вигерина, С.В. Пилипенко // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 1. – С. 27–33.
4. Иванов, В.П. Использование нефтесодержащих отходов в качестве добавки к топливу, сжигаемому в паровом котле / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 178–183.
5. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива : ТКП 17.11-01-2009 (02120). – Введ. 03.03.2009. – Минск : Минприроды, 2009. – 16 с.
6. Иванов, В.П. Охрана труда рабочих и защита окружающей среды от вредного влияния нефтесодержащих отходов / В.П. Иванов, В.А. Дронченко. – Новополоцк : ПГУ, 2016. – 248 с.

7. Иванов, В.П. Выбор технического решения по утилизации нефтесодержащих отходов / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11. – С. 120–124.
8. Гринченков, Д.В. Математическая логика и теория алгоритмов для программистов : учеб. пособие для вузов / Д.В. Гринченков, С.И. Потоцкий. – М. : Кнорус, 2014. – 206 с.
9. Дронченко, В.А. Получение мелкодисперсной эмульсии на основе нефтесодержащих отходов и ее утилизация / В.А. Дронченко // Вестн. БрГТУ. Машиностроение. – 2017. – № 4 (106). – С. 51–54.

Поступила 23.06.2021

THE PROGRAM OF SEARCH OF THE OPTIMAL TECHNOLOGICAL PROCESS OF THERMAL UTILIZATION OF OIL-CONTAINING WASTE WITH ENSURING REQUIREMENTS OF LABOR PROTECTION

V. DRONCHENKO, T. STRUK, O. GOLUBEVA

The assessment of the level of use of industrial waste, collection of waste oils is given. The technological process of processing and utilization of liquid oil-containing waste is proposed, which is based on the preparation of an emulsion of the “water in oil” type using a pneumatic radiator, followed by the use of the latter as an additive to the main fuel burned in boiler rooms. The article presents an algorithm for finding the optimal technological process of thermal utilization of oil-containing waste, based on the application of graph theory, which includes two stages: the search for the shortest path length and the construction of the shortest path, as well as a computer program that automates this process.

Keywords: oil-containing waste, labor protection, environmental protection, recycling, search for the optimal technical solution, dynamic programming.

УДК 662.758.2

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ
ПРИ ХРАНЕНИИ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ**

*канд. техн. наук, доц. Е.В. САФРОНОВА, канд. техн. наук, доц. А.В. СПИРИДОНОВ,
Т.В. ГОЛУБЕВ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматриваются вопросы, связанные с причинами потерь нефтепродуктов, даны характеристики и оценки потерь, подробно описаны способы их сокращения и мероприятия по их снижению. Анализируются методы сокращения потерь нефтепродуктов при транспортировке, хранении и отгрузке. Представлен алгоритм расчета потерь от «больших» и «малых» дыханий резервуара и предложен оптимальный способ улавливания и рекуперации углеводородов при наливке цистерн.

Ключевые слова: углеводороды, потери нефтепродукта, снижение потерь, алгоритм расчета, рекуперация, улавливание.

Введение. Проблемы, связанные с потерями нефтепродуктов, в разной степени затрагивают все звенья – от транспортировки до реализации нефтепродуктов. В настоящее время одно из наиболее эффективных направлений развития экономики – всемирное ресурсосбережение. Особенно остро эта проблема ощущается в области экономии энергетических ресурсов. Сокращение потерь нефтепродуктов – одно из важнейших направлений сбережения ресурсов в условиях, когда запасы нефти ограничены, а ее добыча требует все больших усилий. Естественным, необходимым и само собой разумеющимся в таких ситуациях является стремление бережнее относиться к тому, что уже добыто и переработано в товарный продукт.

Транспортировка нефтепродуктов к потребителю связана со значительными их потерями. Потери от смешения и утечек при трубопроводном транспорте, из резервуаров, от неполного слива железнодорожных и автомобильных цистерн, обводнения, зачистки, а также вследствие аварий, разливов, разбрызгивания и испарения наносят огромный ущерб экономике страны, приводят к затратам общественного труда и снижению эффективности производства. Многократные перевалки нефтепродуктов и хранение нефти и нефтепродуктов в резервуарах ведут к потерям от испарения. В атмосферу уходят миллионы тонн углеводородов. Испаряются главным образом легкие фракции. При этом ухудшается качество нефтепродукта. Из товарного резервуарного парка только одного предприятия по распределению нефтепродуктов в атмосферу уходит в среднем около 50 тыс. т углеводородов в год. Углеводороды загрязняют атмосферу, пагубно действуют на здоровье обслуживающего персонала и жителей, особенно детей, близлежащих жилых массивов [1].

Потери нефтепродуктов обуславливаются как их свойствами, так и условиями перекачки, хранения, приема, отпуска, техническим состоянием средств транспорта и хранения, а также внимательностью и добросовестностью обслуживающего персонала. Потери нефтепродуктов в окружающую среду приняли глобальный характер и без постоянного соблюдения действенных мер по борьбе с ними будут возрастать пропорционально росту добычи нефти и их потреблению.

Основная часть. *Анализ источников потерь нефтепродуктов.* Значительной проблемой при эксплуатации резервуарных парков считается сохранение качества и количества продукта. Все потери нефти и нефтепродуктов систематизируются на последующие типы: количественные потери, связанные с уменьшением самого продукта; качественно-количественные потери, при которых происходит утрата с совместным ухудшением качества продукта, – потери от испарения; качественные потери, когда ухудшаются свойства продукта, но при этом его количество не изменяется, – потери при недопустимом смешении.

Кроме этого, необходимо отметить еще две категории потерь углеводородов, определяющие естественную убыль и безвозвратные потери при авариях [2]. Под естественной убылью понимаются потери, связанные с несовершенством используемых средств и технологий приема, отпуска, хранения и транспортировки нефтепродуктов. При этом допускается только уменьшение количества продукта, но сохранение его свойств в допустимых пределах заданных требований.

Естественные потери в основном находятся в зависимости:

- от физико-химических показателей нефтепродуктов (фракционный состав, давление насыщенных паров, плотность и т.п.);
- условий окружающей среды (влажность, атмосферное давление, температура и т.п.);
- качества оборудования при транспортировке нефтепродуктов и на складах (внутрискладские перекачки, хранение, прием, выдача, транспортировка различными видами транспорта).

На данном этапе естественные потери регламентируются нормами естественной убыли [3].

Нефтепродукты в связи с физико-химическими качествами, обуславливающими их естественные потери, распределены согласно 9 группам (таблица 1). Календарный год разделяется на два этапа: осенне-зимний (с 1.10 по 31.03 включительно) и весенне-летний (с 1.04 по 30.09 включительно) [4].

Потери, связанные с испарением в резервуарах, разделяют на потери:

Таблица 1. – Потери нефтепродуктов

Источники потерь	Потери, %
В резервуарах (в т.ч.):	74,6
от больших дыханий	54,0
от выдуваний	4,6
от газового сифона	0,9
при зачистке	5,3
в насосных станциях	2,3
с канализационными стоками	7,5
В линейной части (в т.ч.):	25,3
от утечек	22,3
от аварий	1,2
при наливке железнодорожных цистерн	1,8

- от «большого дыхания»;
- насыщения и «обратного выдоха»;
- «малых дыханий» [3].

Потери при «больших дыханиях» возникают вследствие выхода паровоздушной смеси в атмосферу через дыхательный клапан при наполнении резервуара и при поступлении воздуха в резервуар при откачке нефтепродуктов. Потери от «больших дыханий» в основном зависят:

- от температуры и объема закачиваемого нефтепродукта;
- концентрации паров нефтепродукта в паровоздушной смеси и их плотности;
- от давления, поддерживаемого в газовом пространстве резервуара;
- от количества растворенного газа.

Потери от насыщения и «обратного выдоха» возникают при выходе через дыхательный клапан паровоздушной смеси, которая достигла критического давления до насыщения в газовом пространстве резервуара. Потери от «обратного выдоха» отсутствуют при высоком коэффициенте оборачиваемости резервуара и при малом времени простаивания резервуара с «мертвым» остатком.

Потери от «малых дыханий» возникают вследствие суточных изменений температуры и давления в газовом пространстве резервуара, вызываемых воздействием солнечного тепла и условий окружающей среды на стенки и кровлю резервуара. На «малые дыхания» автомобильных и железнодорожных цистерн также оказывают влияние атмосферные условия, связанные с перемещением транспортных средств [5].

Способы сокращения потерь при хранении углеводородов: тепловая защита резервуаров, специальная конструкция емкостей, газовая обвязка, конденсация паров, плавающие крыши и понтоны, микрополые шарики и защитные эмульсии, диски-отражатели, адсорбенты, компрессионные системы, правильная организация технологических процессов.

Способы рекуперации паров нефтепродуктов. Традиционные средства сокращения потерь нефтепродуктов (диски-отражатели, газоуравнительные системы, понтоны, плавающие крыши) во многих случаях либо неприменимы, либо малоэффективны. Наиболее полное решение проблемы сокращения потерь и выбросов в атмосферу технологии улавливания и рекуперации паров можно свести к следующим группам: адсорбционные, абсорбционные, компрессионные, мембранные, конденсационные и их комбинации. Все они имеют свои преимущества и недостатки.

1. Адсорбционный способ.

Основан на поглощении газов твердыми поглотителями (адсорбентами), например, активированным углем. Преимущества: высокая степень очистки; способность обрабатывать малонасыщенные пары.

Недостатки: высокая стоимость оборудования; сложность систем автоматик; необходимость регенерации адсорбент; необходимость периодической замены адсорбента с последующей его утилизацией; пожаровзрывоопасность; большие габариты [6].

2. Абсорбционный способ.

Основан на процессе поглощения газа жидким поглотителем (абсорбентом), чаще всего дизельным топливом, что определяет основные преимущества и недостатки технологии. Абсорбционные процессы проводят в специальных массообменных контактных аппаратах (абсорберах).

Вертикальные абсорбционные аппараты.

Преимущества: высокая степень улавливания.

Недостатки: большая металлоемкость и габариты; значительное гидравлическое сопротивление; необходимость в абсорбенте (в среднем до 100 л на 1 м³ паровоздушной смеси); пожаровзрывоопасность.

Горизонтальные абсорбционные аппараты.

Преимущества: высокая степень улавливания; в технологии нет высоких или низких температур и давлений; небольшие капитальные и эксплуатационные затраты; не требуются площадки обслуживания; надежная работа установки в летний и зимний периоды; простота монтажа и обслуживания установки.

Недостатки: наличие вращающегося вала с дисковыми элементами усложняет конструкцию, вызывает дополнительный расход энергии и увеличивает пожаровзрывоопасность установок; относительная скорость газа выше рекомендованных значений для атмосферных аппаратов, что снижает эффективность абсорбции; требуются дополнительные насосы для периодической подачи и откачки абсорбента (нефтепродукта) из подземной емкости в резервуар хранения [8].

3. Компрессионный способ.

Сжатие паров углеводородов с последующим охлаждением до температуры окружающей среды и конденсации паров. Осуществляют созданием повышенного давления с помощью компрессоров или жидкостных эжекторов. Компрессор предусматривает сжатие смеси до давления 0,7–5 МПа (от 7 до 50 атм), при этом конденсируется 50–99% углеводородов, содержащихся в смеси.

Преимущества: не требуется абсорбентов и адсорбентов; позволяет осуществлять сбор и транспортирование газа.

Недостатки: высокие энергетические затраты на сжатие; высокая степень конденсации достигается при очень больших давлениях сжатия; опасность смесей, содержащих кислород; требуются дополнительные затраты на заполнение резервуаров инертным газом; требуется специальная аппаратура для согласования поступающего потока ПВС из резервуара и производительности компрессора установки (с целью исключения снижения давления на входе (в резервуарах) ниже атмосферного, что может привести к избыточной откачке ПВС, что вызывает дополнительное испарение нефтепродукта, или даже смятие резервуаров) [7].

4. Эжекторные установки.

Для сжатия используют энергию высокоскоростного жидкостного потока. В результате процесса эжектирования в струйном аппарате происходит сжатие ПВС и абсорбция паров рабочей жидкостью.

Преимущества: конструктивная простота эжектора; высокий уровень взрывопожаробезопасности.

Недостатки: низкая степень улавливания; высокие эксплуатационные энергозатраты; повышенные расходы рабочей жидкости; требуется специальная аппаратура для регулирования производительности потока газа и жидкости (с целью исключения снижения давления на входе (в резервуарах) ниже атмосферного, что может привести к избыточной откачке ПВС, что вызывает дополнительное испарение нефтепродукта, или даже смятие резервуаров) [6].

5. Мембранные технологии.

Проблема выбора мембран требуемой селективности и проницаемости, ресурса работы, создания повышенных давлений перед мембраной (без возникновения взрывоопасных ситуаций), повышенных энергетических затрат на осуществление процесса и необходимости введения абсорбционных или компрессионных контуров для утилизации выделенных (газообразных) углеводородов делают применение мембранных технологий проблематичным.

Преимущества: отсутствие реагентов.

Недостатки: неустойчивость работы при наличии аэрозолей и воды; требуется подготовка газа; требуются дорогостоящие мембраны и их периодическая замена [9].

6. Конденсационные технологии.

Охлаждение ПВС без изменения давления до конденсации углеводородов в жидкую фазу.

7. Криогенный способ.

Преимущества: могут использоваться как одиночные блоки; в оборудовании нет механических движущихся частей и электрических агрегатов; низкая степень взрывопожароопасности.

Недостатки: происходит вымораживание влаги на теплообменной поверхности и замерзание ее в «мертвых» зонах; необходима поставка жидкого азота; требуется специально подготовленный персонал; стоимость затрат выше стоимости полученного конденсата [8].

8. Конденсационные установки.

Преимущества: возможность конденсировать газы, не совместимые с активированным углем; не требуется наличие абсорбента.

Недостатки: высокая степень взрывопожароопасности за счет подачи ПВС в холодильную машину; проблемы с льдообразованием за счет неудачно выбранных конструктивных и технологических решений.

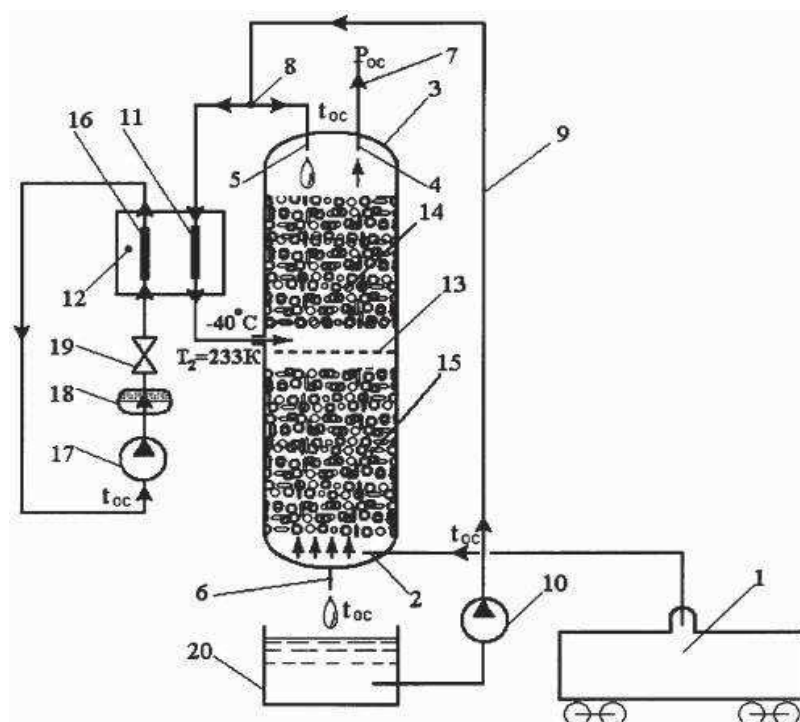
9. Комбинированные технологии (сочетания конденсационного и абсорбционного способов).

Преимущества: высокая степень улавливания.

Недостатки: высокая стоимость оборудования; высокая стоимость эксплуатации [8].

Конденсато-абсорбционная технология, применяемая ООО «Газспецтехника» для установок ККР (комплексы конденсации и рассейвания), основана на снижении парциального давления паров при снижении температуры паровоздушной смеси и взаимной растворимости углеводородов (рисунок 1).

Основные преимущества установок ККР: возможность использования для широкого спектра химических и нефтяных продуктов; безопасность процессов рекуперации; отсутствие загрязненных вторичных отходов; отсутствие расходов на приобретение и утилизацию адсорбентов или абсорбентов; резервирование технологического оборудования в составе ККР; минимальное гидравлическое сопротивление комплекса; минимальные требования к контролю и автоматизации технологического процесса; наличие широкой сети гарантийного и постгарантийного обслуживания холодильного и насосного оборудования в регионах. Установки ККР позволяют уловить до 98% выбросов углеводородов. В зависимости от изменения тепловой нагрузки на установку рекуперации холодопроизводительность холодильной установки автоматически меняется, что позволяет экономить на потребляемой электроэнергии, при этом постоянно поддерживая заданную температуру конденсации [10].



1 – источник ПВС (цистерна); 2 – газовый вход; 3 – вертикальный адсорбер; 4 – газовый выход; 5 – жидкостный вход; 6 – жидкостный выход; 7 – выход обратного газового канала; 8 – тройник; 9 – трубопровод; 10 – питающий насос; 11 – прямой канал теплообменника; 12 – рекуперативный теплообменник; 13 – каплеуловитель-смеситель; 14 – верхняя насыпка; 15 – нижняя насыпка; 16 – обратный канал теплообменника; 17 – компрессор; 18 – фильтр-охладитель; 19 – дроссель; 20 – приемник-накопитель смеси конденсата

Рисунок 1. – Устройство конденсации паров

Методика исследований по рекуперации паров. На основании промышленной установки был изготовлен упрощенный вариант лабораторной установки для количественной и качественной оценок потерь бензина при испарении (рисунок 2).



Рисунок 2. – Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из следующих частей: рама, воздушный насос, подогреватель воздуха, емкость с испаряемым бензином, конденсатор паров бензина, емкость для сбора конденсата. Принцип работы установки: воздушным насосом нагнетается воздух в воздухоподогреватель, откуда подогретый воздух поступает в емкость с бензином; пары бензина из емкости поступают в конденсатор паров для конденсации; после конденсатора получают конденсат бензина и часть несконденсировавшихся паров.

Определим компоновку оборудования на раме для сборки компонентов и тем самым сделаем ее более компактной. Основными узлами, используемыми в нашей установке, являются насос прямого вытеснения, подогреватель воздуха и конденсатор, емкость для сбора конденсата.

Насос прямого вытеснения используется для подачи воздуха в воздухоподогреватель, а затем в емкость, где хранится бензин, для увеличения количества образующихся паров. Выбран насос: давление 0,012 МПа, мощность 3,5 Вт, расход 2–3,2 л/мин.

Из-за ограниченных размеров емкости с бензином при проведении эксперимента большого количества паров бензина образовываться не будет. Таким образом, для подогрева воздуха достаточно простого нагревателя из трубы ПВХ и паяльника в качестве нагревательного элемента.

Конденсатор выполнен из пенополистирольного термоконтейнера для удержания холода и змеевика из медной трубки с ребрами для лучшего теплообмена.

В качестве измерительных приборов и реагентов использовали:

- секундомер (погрешность измерения $\pm 0,5$ с/сут);
- мерную колбу (погрешность измерения $\pm 0,9$ мл);
- бензин 1000 мл (при температуре -20 °C и -25 °C).

В результате эксперимента получили следующее (таблица 2): объем полученного конденсата вырос с понижением температуры, также увеличилось время на его получение.

Таблица 2. – Объем полученного конденсата

Номер опыта	Объем полученного конденсата при -20 °C, мл	Время конденсации, мин	Объем полученного конденсата при -25 °C, мл	Время конденсации, мин
1	174	551	192	568
2	168	510	201	597
3	170	521	198	588
4	171	534	188	550
5	175	554	196	577
Среднее значение	172	534	195	575

Разработка схемы рекуперации паров углеводородов. На базе существующих схем установок рекуперации паров методом охлаждения была предложена схема, основным отличием которой является многоступенчатое охлаждение паров углеводородов в различных аппаратах с отведением полученного конденсата после каждой ступени и удаление сконденсировавшейся воды (рисунок 3).

Все три этапа охлаждения происходят в выпарном конденсаторе, состоящем из нескольких секций. В каждой секции расположен змеевик. В ходе процесса уловленные пары, последовательно проходя все секции, ступенчато охлаждаются, в результате чего происходит конденсация и отвод углеводородной жидкости в сепаратор. Пары двигаются по межтрубному пространству, хладагент – внутри труб.

Охлаждение на первом этапе. Это стандартный одноступенчатый цикл охлаждения. Пары из компрессора конденсируются в конденсаторе с воздушным охлаждением и уже в жидком состоянии попадают в ресивер, из которого через регулирующий клапан в охлаждающий змеевик первой ступени выпарного конденсатора. Хладагент, испаряясь в змеевике, охлаждает смесь уловленных паров до $+5$ °C, испарившийся в ходе процесса хладагент первой ступени в газообразном состоянии возвращаются в компрессор, а охлажденные пары поступают на вторую стадию охлаждения.

На первом этапе охлаждения конденсируется основная масса водяных паров, содержащихся в воздухе, и некоторое количество углеводородов. Первый этап охлаждения «защищает» последующие, более холодные, этапы охлаждения от появления льда и замерзания.

Охлаждение на втором этапе. Пары из нагнетания компрессора проходят через теплообменник и конденсируются в конденсаторе с воздушным охлаждением. Из конденсатора уже жидкий хладагент поступает вначале в ресивер, из которого к змеевику повторного нагрева на выходе, где теплая охлаждающая жидкость применяется для повторного нагрева холодных выходящих паров. На данном этапе жидкость охлаждается. Охлажденная жидкость через регулирующий клапан затем идет к змеевику охлаждения второго этапа. Жидкий хладагент испаряется в охлаждающем змеевике, охлаждая смесь уловленных паров до -25 °C, после чего возвращается в компрессор.

На этом этапе конденсируется основная масса уловленных углеводородов и остатки водяного пара. Уловленная углеводородная жидкость отводится в сепаратор, а хладагент в газообразном состоянии возвращается в компрессор. Применяется пропановый и пропиленовый хладагенты. Охлаждение от $+5$ °C до -30 °C, конденсируются фракции от C4 до C6.

Охлаждение на третьем этапе (подобен первому этапу). Пары хладагента из нагнетания компрессора конденсируются в конденсаторе, после чего уже в жидком состоянии через регулирующий клапан поступают к змеевику третьего этапа охлаждения. Жидкий хладагент испаряется в охлаждающем змеевике, охлаждая смесь уловленного пара до -75 °C, и затем уже в газообразном состоянии возвращается в компрессор.

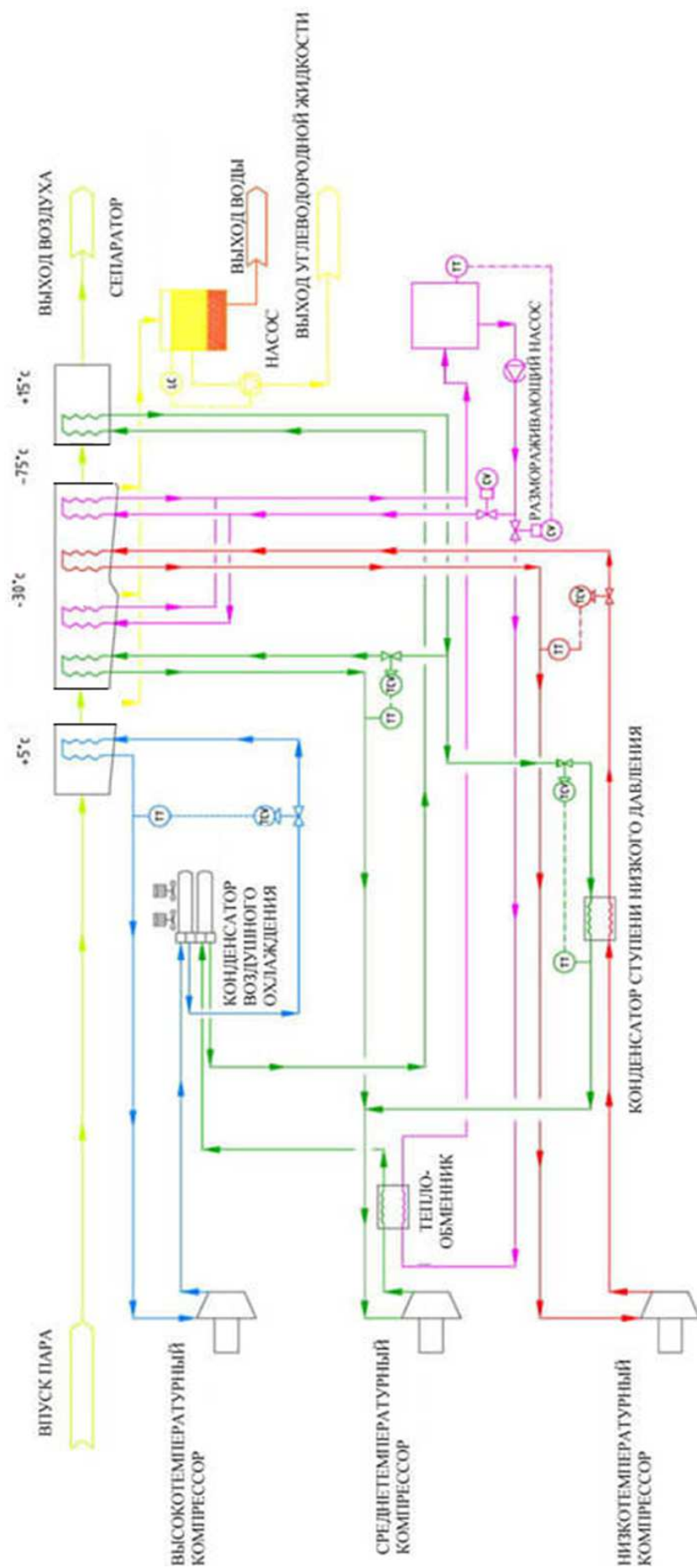


Рисунок 3. – Схема процесса регенерации паров методом охлаждения

На этом этапе происходит конденсация остатков углеводородов, оставшихся не удаленными на втором этапе охлаждения. Сконденсированная углеводородная жидкость поступает в сепаратор. На данном этапе уловленные пары охлаждаются от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (возможно до $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для обеспечения данного режима охлаждения применяется другой хладагент – этилен.

Система размораживания. Воздух несет небольшое количество водяных паров. Большая часть удаляется на первом этапе в виде жидкости через дренаж. Водяные пары, проходящие первый этап, образуют лед на втором и третьем этапах. Лед должен периодически удаляться, обычно один раз каждые 24 ч. Отходящая теплота от второго этапа системы установки охлаждения используется для нагрева жидкости для размораживания.

Время размораживания может быть запрограммировано, чтобы соответствовать схеме загрузки. Во время размораживания системы охлаждения находятся в выключенном состоянии, а теплая жидкость перекачивается из резервуара в размораживающие змеевики выпарного конденсатора, нагревая их до около $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, пока весь лед не растает. Размороженная вода стекает в сепаратор (как и на первой ступени охлаждения), затем, отделившись от углеводородов, в дренаж. Жидкость для размораживания – метанол.

Системы улавливания и рекуперации паров, базирующиеся на процессе охлаждения, в сравнении с другими все еще применяющимися устаревшими технологиями, имеют следующие преимущества:

- жидкость улавливается непосредственно, ее можно точно замерить. Непосредственный замер в системе может быть проконтролирован в реальном времени (в режиме онлайн);
- низкие эксплуатационные расходы. Техническое обслуживание ограничивается проверкой оборудования по графику, внешним осмотром и заменой маслофильтров 1 раз в год. Установке не требуется текущий ремонт в промежутках менее 25 000 ч (в зависимости от нагрузки это от 3 до 10 лет). При нормальной эксплуатации замена масла не требуется на протяжении всего срока службы;
- безопасность процесса. В отличие от других технологий в системах не применяются вентиляторы и воздухоудовки для транспортировки паров, т.к. движение паров в системе происходит естественным образом, «самотеком», благодаря этому в канале движения взрывопожароопасных паров нефтепродуктов отсутствуют вращающиеся и подвижные детали, способные, выйдя из строя, вызвать искру и спровоцировать взрыв или пожар;
- минимальные затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию;
- системы полностью автономны. Нет необходимости в подсоединении к внешнему источнику поглощающей жидкости;
- очень низкое энергопотребление – $0,15\text{ кВт}$ на 1 м^3 обработанных паров при максимальных летних расчетных условиях. Средняя мощность в год – $0,1\text{--}0,12\text{ кВт}$ на 1 м^3 обработанных паров.

Заключение. В ходе исследования были выявлены способы сокращения потерь нефтепродуктов при «больших» и «малых» дыханиях: тепловая защита резервуара, специальная конструкция емкостей, газовая обвязка, конденсация паров, компрессионные системы, правильная организация технологических процессов, применение рекуперативных установок. Самыми эффективными считаются установки по рекуперации паров, т.к. с их помощью не только уменьшается количество паров углеводородов, уходящих в атмосферу, но и большая часть паров возвращается назад за счет конденсации.

Показаны централизованный подход к формированию норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении и транспортировании и подход к формированию норм технологических потерь нефтепродуктов при производстве и транспортировании. Эффективное выполнение функций системы топливообеспечения может быть достигнуто при ее устойчивости к различным воздействиям. Основным критерий устойчивости системы – уровень потерь продукта, которые происходят в системе на различных этапах ее функционирования. Слив либо налив нефтепродуктов должен осуществляться с помощью специально предназначенных для этой цели установок с улавливанием паров углеводородов. Именно это обеспечивает наибольшую пожаробезопасность и наименьший ущерб окружающей среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абузова, Ф.Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Ф.Ф. Абузова, И.С. Бронштейн, В.Ф. Новоселов. – М. : Недра, 1981. – 248 с.
2. Автозаправочные станции : практ. пособие. – 1-е изд. – М. : Учет, 2003. – 464 с.
3. Александров, А.А. Деньги на ветер: Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.Ю. Емельянов // Совр. АЗС. – 2005. – № 10. – С. 130–133.
4. Александров, А.А. Система улавливания легких фракций моторных топлив на автозаправочных станциях / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.Ю. Емельянов // Холодил. техника. – 2004. – № 8. – С. 30–33.
5. Бесчастнов, М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М.В. Бесчастнов. – М. : Химия, 1991. – 430 с.
6. Кулагин, А.В. Прогнозирование и сокращение потерь бензинов от испарения из горизонтальных подземных резервуаров АЗС : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / А.В. Кулагин ; Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. – Уфа, 2003. – 25 с.

7. Кулагин, А.В. Улавливание паров бензина при его приеме в резервуары автозаправочных станций / А.В. Кулагин, А.А. Коршак // Трубопроводный транспорт нефти и газа : материалы Всерос. научн.-техн. конф. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2002. – С. 128–132.
8. Ларионов, В.И. Оценка и обеспечение безопасности объектов хранения и транспортировки углеводородного сырья / В.И. Ларионов. – СПб. : Недра, 2004. – 190 с.
9. Липский, В.К. Нормы естественной убыли нефти и нефтепродуктов стальных резервуаров / В.К. Липский, Л.М. Спиридонок, А.И. Бондарчук // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 334–336.
10. Ржавский, Е.Л. Методы и средства борьбы с потерями нефти и нефтепродуктов при транспорте и хранении / Е.Л. Ржавский. – М. : ВНИИОЭНГ, 1969. – 65 с.

Поступила 21.06.2021

MODERN METHODS FOR CAPTURING HYDROCARBONS STORAGE AND TRANSPORTATION

E. SAFRONOVA, A. SPIRIDONOV, T. GOLUBEV

In this work, the main attention is paid to issues related to the causes of losses of petroleum products, their characteristics are given, and measures to reduce losses of petroleum products and the solution of this problem are described in detail. The purpose of this work is to consider and describe methods for reducing the loss of petroleum products during transportation, storage and shipment. The analysis of all possible losses of oil products and analysis of ways to reduce these losses are carried out. Also, the paper provides an algorithm for calculating losses from “large” and “small” breathing of the reservoir and an optimal method for recuperating hydrocarbons when loading tanks. Methods for reducing losses of oil products during transportation, storage and shipment are considered and described, an optimal method for capturing and recovering hydrocarbons is proposed.

Keywords: hydrocarbons, oil product losses, loss reduction, calculation algorithm, recuperation, capture.

УДК 678.7-1.001.5

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНСЕКТИЦИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК С БИОЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ**Е.В. ЛАШКИНА***(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)*

Разработаны и изготовлены многофункциональные пленочные материалы на основе полиэтилена высокого давления путем модифицирования полимерной матрицы химически активными реагентами (инсектицидами из классов синтетических пиретроидов, фосфорорганических соединений, неоникотиноидов, частицами карбоната кальция и УФ-стабилизатором Tinuvin 783), оптимизированные по рецептурным, структурным, физическим и физико-химическим параметрам и биоактивности. Установлено, что молекулы инсектицида, иммобилизованные в рыхлой структуре частиц карбоната кальция, сохраняют свою подвижность и способность к испарению, обеспечивая пролонгированное действие пленки. Исследования методом ИК-спектроскопии показали, что в инсектицидных полимерных пленках имеет место образование эфирной связи между молекулами компонентов.

Ключевые слова: инсектициды, полимерные композиционные материалы, стерически затрудненные амины, инсектицидная активность, кератинсодержащие изделия.

Введение. В настоящее время приоритетным направлением фундаментальных и прикладных научных исследований в области материаловедения является разработка новых многофункциональных полимерных материалов на основе химических средств, сочетающих в себе уникальные физико-механические свойства и функциональную активность, обеспечивающую экономически целесообразное и высокоэффективное использование.

Актуальным является получение активных (многофункциональных) инсектицидных полимерных пленочных материалов, сочетающих в себе уникальные физико-механические свойства, характерные для полимеров, и функциональную активность вводимых модификаторов, которая существенно расширяет технические возможности применения материалов. Введение функциональных добавок в полимерную матрицу позволяет создать новые материалы с особыми свойствами [1; 2] (высокая прочность, бактерицидность, фунгицидность, инсектицидность, стойкость к термоокислительной деструкции и действию УФ-облучения и т.д.), что обеспечивает их высокоэффективное использование в различных отраслях промышленности.

Одной из современных тенденций в области разработки способов защиты лесных, сельскохозяйственных угодий и декоративных насаждений в городах от насекомых-фитофагов, а также сырья и промышленных товаров от биоповреждений является их упаковка и/или укутывание с помощью многофункциональных полимерных пленок.

Упаковка должна обеспечивать барьерную защиту товаров от неблагоприятного воздействия окружающей среды и механических повреждений, а также предотвращать порчу товаров плесенью и насекомыми-кератофагами.

Способ защиты товарной продукции от насекомых-кератофагов (моль, кожееды, пухоеды и т.д.) – модифицирование бумажных носителей раствором инсектицида (бумажные мешки погружают в раствор инсектицида) [3] – предполагает использование в качестве основного упаковочного материала бумагу, которая характеризуется низкими прочностью и влагостойкостью и требует дополнительного укомплектования упаковок фольгами или полимерными пленками. Известна инсектицидная композиция с замедленным высвобождением активного вещества [4], содержащая летучий пиретроидный инсектицид, смешанный с раствором полимера.

Необходимость создания в стране производства многофункциональной упаковочной инсектицидной полимерной пленки обусловлена отсутствием аналогичных отечественных материалов и возросшей потребностью в них промышленных предприятий, выпускающих непродовольственные товары (шерстяные ткани, одежду, пушно-меховые полуфабрикаты и изделия, утепления для обуви, мебели и т.п.), для решения проблемы защиты сырья от биоповреждений.

Огромный опыт применения инсектицидов накоплен в сельском хозяйстве. Самодиспергирующийся инсектицидный и инсектоакарицидный препарат [5] представляет собой суспензию, содержащую синтетический пиретроид – стабилизатор, поверхностно-активное и клеящее вещество.

Совершенствование системы защиты насаждений от энтомофитов на основе применения высокоэффективных методов, средств и технологий положительно скажется на экологическом и ресурсном потенциале сельскохозяйственных угодий и лесов и будет способствовать сохранению природного комплекса и улучшению экологической обстановки в Республике Беларусь.

Современные инсектициды принадлежат к достаточно разнообразным классам химических веществ. Это инсектициды на основе неоникотиноидов, синтетических пиретроидов, фосфорорганических соединений, обладающие высокой инсектицидной активностью, продолжительным защитным действием при низких нормах

расхода (1–5%), эксплуатационными характеристиками ($T_{разл.} = 180–230\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{кит.} = 120–86\text{ }^{\circ}\text{C}$), удовлетворяющими температуре переработки полимерной матрицы, экологической безопасностью по отношению к окружающей среде [6].

В процессе переработки, при хранении и эксплуатации инсектицидные полимерные пленки подвергаются старению, что приводит к значительному изменению их свойств, поэтому большое значение приобретает проблема стабилизации этого процесса.

Высокоэффективным классом стабилизаторов, повышающих стойкость полиэтиленового связующего к термоокислительной деструкции и действию УФ-облучения, являются стерически (пространственно) затрудненные амины (ПЗА) [7].

Перспективным компонентом для равномерного распределения малых количеств инсектицида и стабилизатора в перерабатываемой композиции и устранения слипания готовой к эксплуатации пленки является порошок карбоната кальция (CaCO_3) с размером частиц менее 500 нм.

Цель работы – изучение влияния функциональных наполнителей на физико-химические и эксплуатационные свойства инсектицидной полимерной пленки.

Материалы, методы исследования и изготовление экспериментальных образцов. Объектом исследования служили полимерные пленочные образцы инсектицидных полимерных составов на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) марки 16803-070 (ГОСТ 16337-77).

Потенциально активными компонентами в полимерных пленочных наноккомпозитах выступали инсектициды различного спектра действия, разрешенные к применению на территории Республики Беларусь и стран СНГ. Их основные характеристики представлены в таблице 1.

В полимерных композициях использовали свето- и термостабилизатор из класса пространственно-затрудненных аминов (белый порошок с желтоватым оттенком) – бис-(2,2,6,6-тетраметил-4-пиперидинил)терефталат (Tinuvin 783) (CIBA, Швейцария), представляющий собой синергичную смесь олигомерных напряженных аминных стабилизаторов (HALS) Tinuvin 622 и Chimassorb 944 (1:1), обладающий высокой устойчивостью к экстракции, низкой летучестью и повышающий стойкость полиэтиленового связующего к термоокислительной деструкции [8].

Таблица 1. – Основные характеристики используемых инсектицидов

Класс инсектицида	Действующее вещество	Название (торговая марка), брутто-формула	Химическая формула	ТУ	Номер гос. рег.
Синтетические пиретроиды	Перметрин (П)	«Искра», КЭ (IRS)-цис, транс-3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты 3-феноксibenзиловый эфир	$(\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{Cl}_2\text{O}_3)$	113-04-331-91	01-0019
	Циперметрин (ЦП)	«Шарпей», МЭ (IRS)-цис, транс-3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоновой кислоты (RS)-3-фенокси- α -циано-бензиловый эфир	$(\text{C}_{22}\text{H}_{19}\text{Cl}_2\text{NO}_3)$	2387-015-45418518-99	01-0099
	β -циперметрин (β -ЦП)	«Кинмикс», КЭ α -циано-3-феноксibenзол-3-(2,2-дихлорвинил)-2,2-диметилциклопропанкарбоксилат	$(\text{C}_{22}\text{H}_{19}\text{Cl}_2\text{NO}_3)$	2441-061-48811647-2006	01-0025
Фосфорорганический инсектицид	Пиримифосметил (ПМ)	«Актеллик», КЭ 2-диэтиламино-6-метилпиримидин-4-ил диметилфосфат	$(\text{C}_{11}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{O}_3\text{PS})$	2387-007-00494172-97	01-0027
Неоникатиноид	Имдаклоприд (ИМ)	«Искра Золотая», ВРК 4,5-дигидро-N-нитро-1-[(6-хлор-3-пиридил)метил]имидазолидин-2-иленамин	$(\text{C}_9\text{H}_{10}\text{Cl}_5\text{NO}_2)$	2387-087-42315284-04	01-0110

Tinuvin 783 термодинамически совместим с ПЭВД (интервал температур плавления 5–140 $^{\circ}\text{C}$, точка вспышки 192 $^{\circ}\text{C}$, плотность 514 г/л), что обуславливает технологичность процесса получения пленки методом рукавно-пленочной экструзии.

Средством равномерного распределения целевых добавок инсектицида и стабилизатора в связующем выступил порошок карбоната кальция (CaCO_3) дисперсностью менее 500 нм (ГОСТ 17498-72).

В качестве пластификатора был выбран диоктилфталат (ДОФ) (ТУ 6-09-08-1504-83).

Композиции с содержанием модифицирующих реагентов готовили следующим образом: в порошок CaCO_3 (до 6 мас. %) последовательно путем смешивания вводили инсектицид (0,5–2,5 мас. %), затем стабилизатор (0,2–1,2 мас. %); смесь пластифицировали ДОФ (2–4 мас. %), интенсифицирующим процесс выделения

инсектицида, выполняющим функцию диспергатора в процессе компаундирования минерального наполнителя и обладающим слабым репеллентным действием. Полученную массу смешивали с ПЭВД (89–93 мас. %). Пленки формовали из гранулята методом рукавной экструзии.

Технологичность процесса переработки композиций в пленку оценивали с помощью экструзионного агрегата HAAKER NEOCORD 90 по критерию минимума крутящего момента в шнеке. По соответствию этому критерию определен диапазон оптимальной дисперсности частиц CaCO_3 менее 500 нм.

Деформационно-прочностные характеристики пленок (разрушающее напряжение σ и относительное удлинение ε при разрыве) определяли по ГОСТ 14236-81 с помощью разрывной машины Instron 5567 (США). Регистрировали изменение деформационно-прочностных характеристик в процессе старения пленок, подвергавшихся УФ облучению по 8 ч/сут в течение 3-х месяцев. Испытания проводили согласно методу, изложенному в ENISO 4892-2:2011 (Пластмасса. Методы испытаний на воздействие лабораторных источников света. Часть 2. Ксеноновые дуговые лампы).

С целью определения термической стабильности полученных композиций был проведен дифференциально-термический (ДТА) и термогравиметрический анализ (ТГА), а затем рассчитана энергия активации термоокислительной деструкции E_d :

$$E_d = R \cdot \text{tg} \alpha,$$

где $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль · град – постоянная;

α – угол наклона логарифмической зависимости изменения массы от температуры.

Исследования проводили на дериватографе Q-1500 (Венгрия) в среде воздуха при скорости нагрева 5 град/мин. В качестве эталона использовали прокаленный дисперсный оксид алюминия квалификации «ч» (ТУ 6-09-426-75).

ИК-спектры образцов исследуемых материалов регистрировали в диапазоне волновых чисел 4000–400 см^{-1} на ИК-Фурье спектрофотометре NICOLET 5700. Идентификацию и анализ полученных спектров осуществляли с использованием имеющихся данных по ИК-спектрам полимеров, неорганических и органических соединений [9; 10].

Оптическую плотность характеристических полос поглощения в ИК-спектрах определяли по формуле

$$D = \lg \frac{I}{I_0},$$

где D – оптическая плотность полосы поглощения;

I – интенсивность пропущенного (поглощенного) излучения на исследуемой частоте;

I_0 – интенсивность падающего излучения (фон).

Интенсивности полос, необходимые для расчета D , определяли по методу базовой линии [11].

Инсектицидное действие пленок изучали относительно личинок комнатных мух (*Musca domestica*). Личинки (по 50 особей) помещали в бюксы на образцы исследуемых пленок. Спустя 5 ч регистрировали число (m) погибших личинок.

В таблице 2 приведены составы пленок и значения регистрируемых параметров, являющиеся средними 7–10 идентичных измерений.

Микробиологическую активность модифицированных пленок исследовали на тест-культурах бактерий *Pseudomonas aeruginosa*, выращенных из паспортизированных штаммов Института микробиологии НАН Беларуси. Культуры микроорганизмов высевали в чашки Петри с мясопептонной питательной средой. В каждую чашку помещали по 3 образца пленок одинакового инсектицидного состава. Площадь образцов 10 мм^2 , масса – 0,07 г. Чашки с образцами выдерживали в термостате при температуре 28 $^{\circ}\text{C}$ и влажности, близкой к 100%, в течение 7 сут. Регистрировали появление зоны задержки роста микроорганизмов.

Результаты и их обсуждение. Свето- и термостабилизатор Tinuvin 783 хорошо совмещается с ПЭВД. Инсектицид, растворенный в пластификаторе, практически не связывается с макромолекулами, сохраняя молекулярную подвижность и способность к испарению. Стабилизатор нейтрализует образующиеся при фотоокислении макромолекулы радикалы с образованием ингибиторов окисления. Благодаря этому еще более увеличивается подвижность молекул инсектицида в матрице ПЭВД. Это ускоряет испарение и обуславливает повышенную концентрацию паров инсектицида вблизи поверхности пленки даже при его малом содержании в составе композиции. Дозированное выделение паров из свободного объема полимерной матрицы продолжается до 2–3 лет [12], пока не израсходуется весь запас инсектицида.

По данным деформационно-прочностных показателей область оптимальных концентраций CaCO_3 составляет 4–5 мас. % (таблица 2). Дальнейшее увеличение содержания CaCO_3 приводит к снижению этих показателей, что обусловлено уменьшением содержания ПЭВД и повышением дефектности материала, влияющей на изменение его структуры и соответственно снижение деформационных характеристик и эксплуатационных свойств.

Таблица 2. – Изменение величины деформационно-прочностных характеристик модифицированных инсектицидных пленок в процессе светового старения

№ образцов	Компоненты и их содержание, мас. %										Показатели свойств пленок				
	ПЭВД	CaCO ₃	Инсектициды					ДОФ	Tinuvin 783	Инсектицидность	Деформационно-прочностные характеристики σ (МПа) / ε (%) после облучения в течение месяца				
			П	ЦП	β-ЦП	ПМ	ИМ				Месяц				
											0	1	2		
														3	
1	89	5	1	—	—	—	3	1,0	100	8,82/180	8,63/177	8,45/170	8,01/160		
2	90	5	2	—	—	—	2	1,0	100	100	9,80/170	9,52/170	9,27/165	9,15/165	
3	91	4	2	—	—	—	2	1,0	100	100	9,83/170	9,53/170	9,33/170	9,31/165	
4	92	4	1	—	—	—	2	1,0	100	100	9,84/170	9,61/170	9,39/165	9,33/160	
5	92,5	4	1	—	—	—	2	0,5	100	100	9,85/170	9,16/160	8,77/150	8,47/140	
6	92	3	2	—	—	—	2	1,0	88	88	8,88/170	8,47/160	8,03/150	7,71/130	
7	90	6	1	—	—	—	2		100	100	9,91/150	9,33/145	8,83/140	8,49/130	
8	91	4	0,5	—	—	—	2,5	1	73	73	9,82/170	9,51/170	9,43/170	9,31/165	
9	90		2,5	—	—	—			100	100	9,79/170	9,47/170	9,31/170	9,15/165	
10	91	4	2	—	—	—	1	1	81	81	9,85/165	9,72/160	9,54/155	9,32/150	
11	90		1	—	—	—			100	100	9,79/185	9,55/180	9,39/175	9,27/170	
12	91	4	2	—	—	—	2,8	0,2	100	100	9,83/170	8,77/165	8,32/140	8,04/130	
13			1	—	—	—			100	100	9,82/170	9,61/170	9,42/165	9,35/165	
14	91	4	—	2	—	—	2	1,0	100	100	10,31/170	10,07/170	9,91/165	9,83/160	
15			—	—	2	—			100	100	11,49/160	11,23/155	11,0/150	10,91/150	
16			—	—	—	2			—	100	100	10,79/180	10,59/175	10,45/170	10,21/165
17			—	—	—	—			2	100	100	9,22/190	9,11/190	9,01/185	8,80/180

Диапазон оптимальных концентраций ПЭВД соответствует 90–92%. При 89% (образец 1) исходная прочность пленки ниже, чем при 90% (2). Увеличение количества ПЭВД до 92,5% (5) приводит к заметному снижению деформационно-прочностных показателей пленок в процессе старения из-за уменьшения содержания стабилизатора в композиции.

Область оптимальных концентраций CaCO_3 составляет 4–5%. При 3% (6) исходные деформационно-прочностные показатели пленок заметно ниже, чем при 4% (3–5). В процессе УФ-старения они становятся еще более низкими. Одновременно снижается показатель $m = 88\%$ вследствие менее равномерного распределения инсектицида в пленке. Увеличение концентрации CaCO_3 до 6% (7) обуславливает уменьшение содержания ПЭВД и заметное ухудшение деформационных характеристик пленок.

Снижение концентрации перметрина до 0,5% (8) существенно снижает инсектицидность пленки ($m = 73\%$). При содержании перметрина (П) = 2,5% (9) инсектицидная активность пленки такая же, как при содержании перметрина 1–2% (образцы 1–5): $m = 100\%$. Область оптимальных концентраций инсектицида 1–2%.

Пластификатор выполняет функции регулятора деформационно-прочностных характеристик пленки и транспортного агента инсектицида в структуре пленки. При содержании ДОФ 1% (10) существенно ухудшаются деформационные показатели и инсектицидность пленки, при 4% (11) они такие же, как и в диапазоне оптимальных концентраций ДОФ = 2–3% (2–4).

Диапазон оптимальных концентраций стабилизатора 0,5–1,0%. При содержании Tinuvin 783 = 0,2% (12) деформационно-прочностные показатели пленок быстро снижаются в процессе старения. Большое содержание в пленке Tinuvin 783 = 1,2% (13) не дает преимуществ по сравнению с пленками оптимальных составов (2–4).

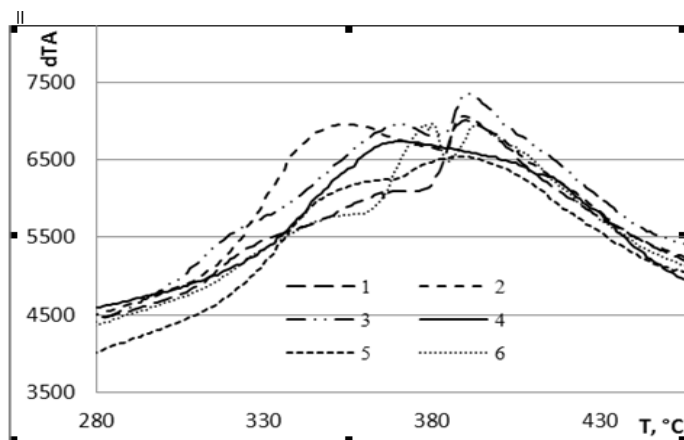
Введение в состав пленки других инсектицидов выбранного ряда – циперметрин (ЦП) (14) β -циперметрин (β -ЦП) (15), пиримифос-метил (ПМ) (16), имидаклоприд (ИМ) (17) – придает пленке инсектицидную активность аналогично действию перметрина (образцы 1–5).

Оптимальные составы инсектицидных полимерных пленок, модифицированных частицами CaCO_3 , соответствуют образцам 2–4, 14–17. Достоинствами разработанных составов являются повышенная технологичность и отсутствие липкости изготовленных из них пленок, что упрощает их эксплуатацию.

Пики, характеризующие начало термодеструкции, в образцах ПЭВД/ДОФ с инсектицидными наполнителями регистрируются при следующих температурах, $^{\circ}\text{C}$: ПЭВД/ДОФ/перметрин – 365, ПЭВД/ДОФ/циперметрин – 354, ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин – 360, ПЭВД/ДОФ/пиримифос-метил – 366, ПЭВД/ДОФ/имидаклоприд – 370 (рисунок). Эти значения несколько ниже температуры термодеструкции ПЭВД (371°C), однако выше температуры термодеструкции инсектицидов (перметрин – 200, циперметрин – 290, β -циперметрин – 180, пиримифос-метил – 280, имидаклоприд – 270). Присутствие и увеличение интенсивности второго пика на кривых ДТА инсектицидных пленок, сдвинутого в область более высоких температур (ПЭВД/ДОФ/перметрин – 390, ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин – 396, ПЭВД/ДОФ/пиримифос-метил – 386, ПЭВД/ДОФ/циперметрин – 390, ПЭВД/ДОФ/имидаклоприд 389), свидетельствует о повышении термостабильности пленок.

Три пика термодеструкции в пленках состава ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин соответствуют трем этапам окисления пленки, вследствие чего происходит расщепление сложнэфирных групп в молекулах инсектицида и пластификатора.

Введение в инсектицидную полимерную пленку CaCO_3 способствует смещению пиков термодеструкции на 10–15 $^{\circ}\text{C}$ в сторону более высоких температур и снижению их интенсивности. Это обусловлено улучшением структуры материала, вследствие равномерного распределения дисперсного наполнителя в полимерной матрице.



1 – ПЭВД/ДОФ/перметрин; 2 – ПЭВД/ДОФ/циперметрин; 3 – ПЭВД/ДОФ/имидаклоприд;
4 – ПЭВД; 5 – ПЭВД/ДОФ/пиримифос-метил; 6 – ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин

Рисунок. – Термограммы инсектицидных полимерных пленок

Кроме того, введение CaCO_3 в композиции с различными инсектицидами приводит к увеличению степени кристалличности материалов на 8–12% и составляет, %: ПЭВД/ДОФ/перметрин/ CaCO_3 – 69,86, ПЭВД/ДОФ/циперметрин/ CaCO_3 – 67,10, ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин/ CaCO_3 – 69,72, ПЭВД/ДОФ/пиримифосметил/ CaCO_3 – 68,74, ПЭВД/ДОФ/имidakлоприд/ CaCO_3 – 69,26, что свидетельствует об образовании индивидуальных кристаллических структур за счет протекания физико-механических взаимодействий между компонентами и, как следствие, образовании материала с высокой степенью кристалличности. Вероятно, частицы CaCO_3 выступают в качестве зародышеобразователей, участвующих в процессе кристаллизации полимерной матрицы. Молекулы инсектицида, иммобилизованные в рыхлой структуре частиц CaCO_3 , сохраняют свою подвижность и способность к испарению, обеспечивая пролонгированное действие пленки.

Экспериментальные данные и приведенные расчеты позволили оценить термостойкость стабилизированных композиций при нагреве путем определения энергии активации E_d термоокислительной деструкции ПЭВД.

Анализ значений E_d показал, что использование Tinuvin 783 (0,5 мас. %) приводит к возрастанию энергии активации до 134,9 кДж/моль (нестабилизированный ПЭВД – 109,56 кДж/моль) и повышению термохимической устойчивости и стойкости к термоокислительной деструкции стабилизированных инсектицидных композиций. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности действия данного стабилизатора.

По результатам микробиологических исследований активность всех исследованных образцов по отношению к микроорганизмам не зарегистрирована. Разработанная многофункциональная инсектицидная пленка, модифицированная частицами CaCO_3 , не оказывает подавляющего морфологического и физиологического действия на тест-культуры.

Использование метода ИК-спектроскопии позволило подтвердить наличие стабилизирующей добавки Tinuvin 783 и минерального наполнителя CaCO_3 в составе инсектицидной пленки. Значения оптических плотностей полос поглощения на примере тройной композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин до и после введения целевых добавок Tinuvin 783 и CaCO_3 приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Оптические плотности полос поглощения инсектицидной композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин/Tinuvin 783 до и после введения частиц минерального наполнителя CaCO_3

Оптическая плотность	Полоса поглощения, см^{-1}					
	3400	2960–2940	2870–2860	1730	1530	872
D_0 (ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин)	0,242	2,949	2,161	0,863	–	–
D (ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин/Tinuvin 783/ CaCO_3)	0,415	5,786	5,725	1,241	0,954	0,736
ΔD	0,173	2,837	3,564	0,378	0,954	0,736

В ИК-спектре композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин/ CaCO_3 /Tinuvin 783 в области 3406 см^{-1} наблюдается смещение широкой полосы поглощения в высокочастотную область, что является подтверждением образования водородных связей между функциональными группами тройной композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин и модификаторами (Tinuvin 783, CaCO_3). Наличие данной полосы, очевидно, свидетельствует о равномерном распределении стабилизатора Tinuvin 783 в тройной композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин за счет адсорбции на поверхности CaCO_3 .

Полосы поглощения ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин/Tinuvin 783/ CaCO_3 при 2950 и 2865 см^{-1} относятся к валентным колебаниям С–Н связи в группах CH_3 – и являются более интенсивными, чем в тройной композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин. Полоса поглощения в области 1796 см^{-1} композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин/Tinuvin 783/ CaCO_3 принадлежит характеристической полосе CaCO_3 при $1794,4 \text{ см}^{-1}$. Более интенсивная полоса поглощения композиции ПЭВД/ДОФ/ β -циперметрин/Tinuvin 783/ CaCO_3 в области 1730 см^{-1} , чем в тройной композиции, описывает наличия связи (C=O) сложноэфирной группы. В области 1000 – 1600 см^{-1} появляются характеристические полосы поглощения, относящиеся к стабилизатору Tinuvin 783.

Изменение оптических полос поглощения в спектре композиции ПЭВД/ДОФ/инсектицид/Tinuvin 783 после введения порошка карбоната кальция свидетельствует об адсорбции инсектицида и стабилизатора на поверхности CaCO_3 , что позволяет равномерно распределить незначительное количество модифицирующих реагентов в связующем и придать полимерной композиции новые свойства: технологичность, прочность, стойкость к свето- и термодеструкции, высокую инсектицидную активность по отношению к насекомым-вредителям, длительный срок эксплуатации.

Заключение. Введение наполнителя и носителя целевых добавок – порошка CaCO_3 и стабилизатора из класса пространственно-затрудненных аминов Tinuvin 783 в инсектицидную полимерную пленку на основе ПЭВД – вызывает протекание физико-химических взаимодействий между функциональными группами компонентов, что позволяет получить новый многофункциональный инсектицидный полимерный материал, сочетающий в себе удовлетворительные деформационно-прочностные свойства (высокий предел прочности при растяжении ($\sim 11,49 \text{ МПа}$)), стойкость к воздействию УФ-лучей, обладающий пролонгированным действием, высокой инсектицидной активностью, длительным сроком эксплуатации.

Для производства многофункциональной полимерной пленки может быть рекомендована композиция следующего состава (мас. %): ПЭВД – 90–92, пластификатор ДОФ – 2–3, инсектицид – 1–2, CaCO_3 – 4–5, стабилизатор Tinuvin 783 – 0,5–1.

Разработанные новые многофункциональные полимерные материалы могут найти применение в качестве укрывной пленки пролонгированного действия для защиты сельскохозяйственных и лесных хвойно-лиственных насаждений от насекомых-фитофагов, а также упаковочной пленки для изделий из кератинсодержащих материалов (шерстяные ткани, меха, ковры, одежда, мебель и т.д.), предотвращающей их повреждение молью, кожеедами, мехоедами и другими насекомыми-вредителями, что подтверждено результатами деформационно-прочностных характеристик и высокой степенью инсектицидного действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин. – СПб. : Науч. основы и технологии, 2008. – 822 с.
2. Погодина, Е. Чем наполнить композит / Е. Погодина // Пластик: индустрия переработки пластмасс. – Самара : Информ. центр. – 2011. – № 8. – С. 26–28.
3. Бумага, пропитанная инсектицидными действующими веществами : пат. RU 2450517, МПК A01N53/00 / Шюле Штефан, Летцнер Бернхард, Аллс Жоффе, Акль Франсуа ; дата публ.: 20.05.12.
4. Инсектицидные композиции с замедленным высвобождением : пат. RU 2475026, МПК A01N53/06 / Монсонис Гуэль Эдуард, Кортес Барера Хорди ; дата публ.: 20.02.13.
5. Лашкина, Е.В. Разработка многофункциональных полимерных пленок для защиты сельскохозяйственных и лесных угодий от насекомых-фитофагов / Е.В. Лашкина // Природная среда Полесья и устойчивое развитие агропромышленного комплекса региона : VI Междунар. науч. конф., Брест, 12–14 сент. 2012 г. / Полес. аграр.-экол. Ин-т НАН РБ ; гл. ред. М.В. Михальчук. – Брест : Альтернатива, 2012. – Вып. 5. – С. 156–159.
6. Исследование физико-химических и эксплуатационных свойств инсектицидных композиционных материалов / Е.В. Лашкина [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2010. – Т. 15. – № 1. – С. 74–78.
7. Стабилизатор для полиолефинов : пат. US 6869992, МПК C08K 5/34 / Gugumus Fran. cedilla. ois. (Allschwil, CH) ; дата публ.: 22.03.05.
8. Лашкина, Е.В. Исследование физико-химических и эксплуатационных свойств инсектицидных полимерных пленок / Е.В. Лашкина // Вестн. Витеб. гос. технол. ун-та. – 2020. – № 2 (39). – С. 108–117.
9. Тарутина, Л.И. Спектральный анализ полимеров / Л.И. Тарутина, Ф.О. Позднякова. – Л. : Химия, 1986. – 248 с.
10. Преч, Э. Определение строения органических соединений / Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффельтер. – М. : Мир, 2006. – 440 с.
11. Инфракрасная спектроскопия полимеров / И. Дехант [и др.] ; под ред. Э.Ф. Олейника. – М. : Химия, 1986. – 472 с.
12. Пленка инсектицидная защитная : пат. BY 19367, МПК B65D65/38 / Е.В. Лашкина, О.А. Ермолович, Л.С. Пинчук; дата публ.: 30.08.2015.

Поступила 25.03.2021

RESEARCH OF MULTIFUNCTIONAL INSECTICIDE POLYMER FILMS WITH BIOPROTECTIVE PROPERTIES

E. LASHKINA

Multifunctional film materials based on high pressure polyethylene were developed and manufactured by modifying the polymer matrix by chemically active reagents (insecticides from the classes of synthetic pyrethroids, phosphorodorganic compounds, neonicotinoids, calcium carbonate particles and UV stabilizer Tinuvin 783), optimized according to prescription, structural, physical and physico-chemical parameters and bioactivity. It has been established that insecticide molecules immobilized in the loose structure of calcium carbonate particles retain their mobility and evaporation ability, providing a prolonged film action. Studies using IR spectroscopy showed that the formation of ether communication between molecules of components is occurred in insecticidal polymeric films.

Keywords: insecticides, polymer composite materials, hindered amines, insecticidal activity, keratin-containing products.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 93; 621.31; 617-089

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОХИРУРГИИ

*канд. техн. наук А.Г. ДУБКО, канд. техн. наук Н.А. ЧВЕРТКО
(Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев),
д-р техн. наук, проф. А.В. ЛЕБЕДЕВ
(Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского),
канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрена история электрохирургии от источников ее возникновения в глубокой древности до современного состояния, а также узловые этапы развития современных электрохирургических методов, основанных на явлении электромагнетизма. Весомый вклад в открытие и изучение этого явления внесли выдающиеся исследователи-экспериментаторы и теоретики многих народов мира. Отмечено, что врачи в XVIII в. изучали действие электричества на живые ткани, используя электрические машины и атмосферное электричество, а к концу XVIII в. уже были созданы основные представления об электричестве, изучены важнейшие явления электростатики и выполнено ее математическое обоснование. С началом XIX в. в центре внимания экспериментальной и теоретической физики находился электрический ток, особое теоретическое и практическое значение имели явления преобразования электричества в тепло. Сегодня на мировом рынке представлены многочисленные высокочастотные электрохирургические аппараты. Одним из приоритетных направлений научных исследований Института электросварки им. Е.О. Патона является внедрение новых технологий и оборудования для соединения биологических тканей сваркой в медицине.

Ключевые слова: *электрический ток, электромагнетизм, медицинская практика, электротехника, биологические ткани, электрохирургия.*

Введение. Истоки развития современных электрохирургических методов лежат в глубокой древности. В давние времена термическое прижигание с помощью разогретого металла было широко распространенным методом лечения ран, при этом происходила их дезинфекция и остановка кровотечений. Инструменты для прижиганий имели разные формы и размеры в зависимости от области применения. В 3000 г. до н.э. египтяне использовали эту технику для лечения опухолей и для контроля кровоизлияний после травмы [1].

Основой современных электрохирургических методов является электромагнетизм. В его открытие и изучение внесли весомый вклад признанные исследователи-экспериментаторы и теоретики многих народов мира. На протяжении тысячелетий целые поколения постепенно, шаг за шагом подчиняли силы природы, изучая и анализируя процессы и закономерности, которые они наблюдали, с целью целесообразного научного и практического использования явлений и процессов природы. Среди значительных открытий, которые способствовали эффективному прорыву науки, можно выделить исследования в области электричества и магнетизма. По заключению ученых-физиков магнетизм и электричество следует рассматривать как разные проявления одного и того же фактора, определяющего свойства веществ, явлений и процессов природы.

Основная часть. *Предпосылки возникновения электрохирургии.* Электричество и магнетизм – две особенности материи и два явления природы – сформировали научную основу развития различных отраслей науки и техники. Магнетизм известен по меньшей мере с V в. до н.э. Камни, найденные вблизи г. Магнезия в Турции, будучи свободно подвешенными, всегда ориентировались в определенном направлении. Это явление используется в современном компасе. Как свидетельствует ряд исторических источников, в Европу компас попал от арабов, а они его заимствовали у китайцев. О компасе рассказывается в древних китайских летописях. В одной из них, датированной 2637 г. до н.э., китайский историк Чу-Ма-Циен описал колесницы, на которых расположены статуи, закрепленные на деревянной основе с магнитными стрелкообразными стержнями. Основа этих статуй была плавающей, поэтому они вращались в направлении полюсов Земли [2].

Большое влияние на историческое развитие науки оказала Древняя Греция (Эллада). Различные области знаний у древних греков не были еще расчленены на отдельные науки и объединялись общим понятием «философия» (любовь к знаниям). Для древнегреческой философии, особенно в наиболее ранних ее стадиях, характерна стихийная диалектика. Эта черта характеризует, в частности, мыслителей Милетской школы, возникшей около VI в. до н.э. в городах Малоазиатского побережья. Мыслители эти были одновременно естествоиспытателями и врачами. Историческая роль Древней Греции отражена в современной терминологии: хирургия (хей-рургия – дословно *рукоделие*), гематология (учение о крови), офтальмология (учение о глазах). Есть множество других медицинских и технических терминов древнегреческого происхождения [3].

Основатель философского мышления и первой в истории философской Милетской школы древнегреческий философ Фалес (конец VII – начало VI вв. до н.э.) был признан первым среди семи греческих мудрецов. Он исследовал природу, изучал астрономию и математику [4]. Также его считают основателем науки об электричестве. Он описывал электрические явления на основе свойств натертого янтаря притягивать кусочки ткани, бумагу, нити.

Первое экспериментальное исследование электрических и магнитных явлений принадлежит английскому врачу-физику, впоследствии придворному лейб-медику, Вильяму Джильберту (Гильберту) (1544–1603), которого считали врачом-новатором [5]. Джильберт провел разносторонние экспериментальные исследования электрических и магнитных явлений. По его предложению введено в жизнь слово «электричество», положившее начало развитию и электротехники, и электротерапии. В XVII в. выдающиеся экспериментаторы, исследователи, ученые в большей или меньшей степени в своих трудах касались вопросов, связанных с электрическими и магнитными явлениями. Исаак Ньютон (1643–1727), Фрэнсис Бэкон (1561–1626), Роберт Бойль (1602–1686) и другие продолжили и углубили работу Гильберта. Наиболее значимым исследованием электричества и магнетизма того времени являются работы немецкого физика Отто фон Герике (1602–1686), который разработал первую электрическую машину. С помощью этого устройства он обнаружил явление отталкивания наэлектризованных тел.

После установления факта, что электричество является свойством ряда тел, следующим шагом исследований было изучение возможности передавать такое свойство от одного тела к другому. Этот шаг впервые осуществил в 1729 г. английский физик Стивен Стефан Грей (1666–1736). При изучении свойств различных тел он установил, что все тела можно разделить на «проводящие» и «непроводящие». Особого внимания заслуживает опыт Грея и Уиллера по проводимости человеческого тела. Анализируя это явление, Грей установил существование движения зарядов и указал на возможность его перехода от одного тела к другому различными способами. Также им установлено явление индукции, т.е. появление зарядов в теле, которое находится вблизи другого наэлектризованного тела. Переход электричества от одного тела к другому показал, что разные заряды неодинаково взаимодействуют между собой. Заряды могут «уничтожать» (компенсировать) друг друга. Таким образом, было установлено, что заряды могут иметь противоположные свойства [6].

Французский физик, член Парижской Академии наук Шарль Франсуа Дюфе (1698–1739) добился успехов в систематизации сведений об электрических эффектах, в т.ч. высказал мнение об электрической природе грома и молнии. Он составил программу изучения электрических явлений и открыл два «вида электрических зарядов» и первым исследовал взаимодействие положительных и отрицательных электрических зарядов. Он доказал, что одноименные наэлектризованные тела отталкиваются друг от друга, а разноименные – притягиваются. В своих экспериментах Дюфе использовал электромметр, который позволял измерять величину заряда [7].

В сороковых годах XVIII в. Гаузен (1693–1742), Иоганн Винклер (1703–1770), Бозе (1710–1761) и другие создавали электрическую машину. Она состояла из шара, вращающихся кожаных подушечек, которые терлись по стеклу, и кондуктора (железной трубки, подвешенной на шелковой нити), на котором накапливались электрические заряды.

В 1745 г. Эдвард фон Клейст (1700–1748) создал прибор, с помощью которого можно было собирать разноименные заряды. В дальнейшем этот прибор получил название «Лейденская банка», поскольку повторно был создан Кунеусом в Лейдене и получил широкое использование в таком виде. Значительным событием изучения электрических явлений были опыты голландского физика Питера ван Мушенбрука (1692–1761) с лейденской банкой. Лейденская банка стала прототипом современного конденсатора.

Значительный вклад в науку об электричестве внес американский ученый Беджемин (Вениамин) Франклин (1706–1790), опытным путем доказавший неравномерность распределения зарядов по поверхности проводников, а также электрическую природу молнии. Запуская воздушных змеев во время грозы, Б. Франклин получил электрические искры для зарядки лейденской банки и тем самым доказал в 1752 г. электрическую природу молнии, а также изобрел громоотвод. Б. Франклин высказал идею о атомизации электричества, т.е. строении электричества из элементарных электрических частиц, аналогично тому, как из атомов построено вещество. Свои исследования Б. Франклин выразил в письмах (1747–1754) к члену Лондонского королевского общества Питеру Коллинсону (1694–1768), который опубликовал их. Эти письма имели большой успех в Европе.

Одновременно с Б. Франклином и независимо от него к подобным выводам относительно электричества как свойства вещества и сути молнии пришли российские физики Георг Вильгельм Рихман (1711–1753) и Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765). Неоконченная диссертация М. Ломоносова называлась «Теория электричества, разработанная математическим методом». Известно, что Г. Рихман погиб во время исследований атмосферного электричества [8].

Количественные математические оценки физических процессов в целом и, в частности, в электричестве, в конце XVIII в. являются доминирующими при анализе явлений и установлении закономерностей. Английский физик и химик Генри Кавендиш (1731–1810) начал исследования в области электричества в 1771 г., которые закончились установлением обратной пропорциональности между силой электрического взаимодействия и квадратом расстояния, повторив результаты (1760) Д. Бернулли и (1776) Дж. Пристли. Г. Кавендиш открыл влияние среды на емкость конденсаторов и вычислил значения диэлектрических постоянных для некоторых веществ. В 1785 г. французский физик Шарль Огюст Кулон (1736–1806) опытным путем с помощью изобре-

тенных им крутильных весов установил зависимость силы взаимодействия между двумя неподвижными электрическими зарядами от их величины и расстояния между ними. На базе установленного закона, который получил название закона Кулона, он сделал вывод об отсутствии электризации в середине проводников. Эта работа Кулона подготовила основу для последующих теоретических исследований в области электро- и магнитостатики.

К концу XVIII в. уже существовали основные представления об электричестве, были изучены важнейшие явления электростатики и выполнено ее математическое обоснование.

Особое значение имело открытие российским академиком Францем Эпинусом (1724–1802) явления электростатической индукции, на основе которого он построил теорию электрического дальнего действия. Это открытие удостоено высшей премии Парижской академии наук [9].

Магнитные явления до конца первой четверти XIX века рассматривались вне всякой связи с электрическими явлениями. В трактате «Опыт теории электричества и магнетизма», изданном Петербургской Академией наук в 1759 г., Ф. Епинусом по сути были рассмотрены все главные явления, являющиеся основой магнитостатики: силы отталкивания и притяжения, явления индуктивного намагничивания, понятие о саморазмагничивании поверхности магнита. Ф. Епинус предложил методы создания искусственных магнитов, пояснил образование магнитных спектров из железных опилок.

С началом XIX в. в центре внимания экспериментальной и теоретической физики находится электрический ток. Этому способствовали исследования в области химического анализа различных веществ с использованием электричества и появление новых электрических явлений, на которых базируются работы Дэви, – гальванические явления. Врачи в XVIII в. изучали действие электричества на живые ткани, используя электрические машины и атмосферное электричество. В 1786 г. Алоизий (Луиджи) Гальвани (1737–1798) – физик, физиолог, профессор анатомии Болонского университета, сделал открытие, которое положило начало новой эпохе в истории науки об электричестве. В своей работе «Трактат о силах электричества при мышечном движении», вышедшей в 1791 г., Гальвани приписал телам животных особый вид энергии. По его мнению, нервы и мускулы являются своеобразными обкладками лейденской банки. Однако итальянский физик Алессандро Вольта (1745–1827), продолжая опыты Гальвани, пришел к другому мнению. Он обратил внимание на то, что в опытах Гальвани присутствуют два металла, а потому считал, что источником электричества является контакт между ними. Исходя из этого, Вольта сделал устройство – первый электрический элемент, который состоял из цинковой и медной пластинок, разделенных тканью, пропитанной соленой водой или разбавленной кислотой. В 1775 г. он опубликовал описание устройства, получившего название «вольтовый столб», – цилиндрический столбик, состоящий из пары медь–цинк, разделенной влажными кружками ткани. В 1799 г. Вольта создал источник длительного электрического тока – прототип современного гальванического элемента.

Английский физик Беннет Абрахам (1750–1799) в 1787 г. изобрел электроскоп, используя в нем легкие золотые лепестки, и провел эксперимент, в котором при зарядке от вольтового столба через конденсатор лепестки расходятся. При разведении пластин конденсатора расхождение увеличивалось. Объяснение этого эффекта было осуществлено значительно позже, оно заключалось в увеличении потенциала при уменьшении емкости. Это явление убедительно доказывало, что оба рода электричества – в действительности одно и то же, поскольку обуславливают аналогичный эффект при использовании источников различного электричества.

В 1800 г. исследователи Уильям Николсон (1753–1815) и Антони Карлейль (1768–1840) открыли явление электролиза. Это было продолжение работ Г. Дэви, но имело чисто практический выход на изготовление мощного вольтового столба из 17 цинковых и 17 серебряных пластинок, проложенных смоченным в соленой воде картоном. С помощью такого умножителя напряжения, используя электроскоп, экспериментаторы показали, что серебряный конец столба заряжен отрицательно, а цинковый – положительно. При пропускании полученного от такого источника тока через воду был сделан вывод о распаде воды на водород и кислород и связи между собой электричества и «гальванизма». Стало возможным практически разложить воду, пропустив через нее разряд электрической машины.

После знакомства с информацией о работах Вольта российский исследователь Василий Владимирович Петров в 1800 г. создал в лаборатории Петербургской медико-хирургической академии батарею с 4200 цинковых и таким же количеством медных кружков. Опыты В. Петрова привели к открытию электрической дуги и ее практическому использованию для освещения и процесса плавления металлов. Также его работы внесли большой вклад в развитие науки об использовании электричества в медицине, биологии. В 1803 г. в книге «Известие о Гальвани-вольтовых опытах» В. Петров изложил результаты своих исследований.

Связь между электрическими и магнитными явлениями была установлена в 1820 г. Датский физик Ханс Эрстед (1777–1891) открыл магнитное поле, которое окружает электрический ток. Опыт Эрстеда положил начало новой ветви естествознания – учению о электромагнетизме.

Большое значение для дальнейшего развития электромагнетизма имели работы Доминика Араго (1776–1853). Исследуя магнитные и электрические явления, Д. Араго установил, что железные опилки, расположенные вблизи электрического тока, намагничиваются. Для усиления эффекта он придал проводнику с током форму соленоида для намагничивания железа

Андре Мари Ампер (1775–1836) в 1820 г. обнаружил взаимодействие токов и установил закон этого взаимодействия (закон Ампера). Он предложил называть это явление электродинамическим [10].

Это было основанием для возникновения нового понятия «электродинамика». Возникновение электродинамики совпадает с созданием первых гальванометров, работа которых базируется на законах Ампера. Пользуясь этим прибором, Ампер впервые ясно и безоговорочно установил единство электричества и магнетизма.

В 1821 г., почти в то время, когда Эрстед, Араго и Ампер проводили свои опыты, подтверждая единство электричества и магнетизма, немецкий физик Томас Зеебек (1770–1831) показал, что в замкнутом круге, состоящем из проводников различных металлов, возникает электродвижущая сила при условии, если места контактов имеют разные температуры. Первые опыты были с висмутом и сурьмой. Во время опытов было замечено действие на магнитную стрелку при нагревании контактов рукой. Явление было названо «термомагнетизмом». В дальнейших опытах оказалось, что при нагревании в металлах возникает ток. Результатом многочисленных опытов стало установление факта, что электродвижущая сила термоэлемента зависит от разницы температур спаев и вещества, из которого создан термоэлемент. Французский физик Антуан Сезар Беккерель (1788–1878), исследуя действие термоэлементов, наблюдал, что для термопары медь–железо в пределах температур 0–140 °C значение ЭДС не меняется, а при повышении температуры до 300 °C стремится к нулю. При увеличении температуры возникает инверсия термоэлектричества (изменение направления тока) [11].

Украинский физик Михаил Петрович Авенариус (1835–1895) показал, что график зависимости ЭДС термопары может иметь форму параболы с вершиной в точке инверсии. Свои работы в области термоэлектричества М. Авенариус подытожил в магистерской диссертации «О термоэлектричестве» [12].

Термин «потенциал» перешел из математики, его впервые ввел в математическую теорию электричества и магнетизма в 1828 г. английский ученый Дж. Грин (1793–1841).

В 1834 г. французский ученый Жан Пельтье (1785–1845) открыл явление, прямо противоположное явлению Т. Зеебека. Им было установлено, что при прохождении тока в цепи, которая состоит из различных металлов, в местах спаев в зависимости от направления тока выделяется или поглощается определенное количество теплоты [13].

Английский физик Уильям Томсон (Кельвин) (1824–1907) в 1856 г. установил зависимость между коэффициентом Пельтье и коэффициентом термоЭДС [14].

В конце XIX в. в результате многочисленных исследований Кавендиша, Петрова, Дэви, Беккереля были сделаны выводы относительно законов проводимости проводников первого рода: проводимость уменьшается с повышением температуры; проводимость зависит от природы проводника; проводимость зависит от геометрических размеров проводника. Однако этих выводов, как оказалось, было недостаточно для установления общих законов электрического тока.

Большое теоретическое и практическое значение имело преобразование электричества в тепло. Отправным пунктом стало открытие электрического сопротивления. Немецкий физик Георг Ом (1787–1854) в 1836 г. впервые ввел это понятие, ставшее третьим после напряжения и силы тока научным элементом основного количественного соотношения в теории электрического тока. В 1826 г. вышла в свет его работа «Определение закона, по которому металлы проводят электричество», в которой сформулирован закон, в дальнейшем названный его именем. Этот закон Ом вывел не только на базе экспериментальных данных, а и пользуясь аналогией между тепловыми и электрическими явлениями и процессами.

Как известно из исторических источников, современники не сразу оценили значение работ Ома. Закон Ома получил признание лишь после опубликования в 1847 г. работы Густава Кирхгофа (1824–1887, немецкий физик) «О разветвлении тока» и после работ Эмилия Христиановича Ленца (1804–1865) и Германа Людвига Фердинанта Гельмгольца (1821–1894), которые показали, что закон Ома справедлив не только для токов гальванических элементов, но и для переменных токов. Закон Ома полностью подтвердился на практике при расчете сопротивлений проводников, соединенных последовательно и параллельно, а также при смешанном способе соединения источников тока. Используя закон Ома для измерения сопротивлений проводников, Гальм Уитсон (1802–1875, английский физик) в 1844 г. предложил свой метод, известный под названием «мостик Уитсона». Как известно, эта схема построена на принципе разветвления тока. В 1841 г. методом компенсации, основанном этом принципе, Пегендорф провел измерения ЭДС. Основываясь на законе Ома, Кирхгоф в 1845 г. обобщил его в виде двух правил (законов), которые незаменимы в современной практике анализа процессов в разнородных разветвленных цепях. Опыт Эрстеда повторил Ауген Артур де ла Рив (1801–1873, швейцарский физик), используя мультипликатор, предложенный Иоганном Швейгером (1779–1857, немецкий физик), что позволило выявлять слабые токи. В дальнейшем была проведена серия уникальных опытов, которые углубляли знания о взаимосвязи электрических и магнитных явлений. Одно из первых открытий в этой серии принадлежит французским физикам Жану Био (1774–1862) и Феликсу Савару (1791–1841), которые выявили наличие магнитного поля проводника с током и вывели формулу, позволяющую определить напряженность этого поля (закон Био–Савара).

Открытие электромагнитной индукции было закономерным результатом более десятилетней работы английского физика Майкла Фарадея (1791–1867).

В частности, выдающимся экспериментальным достижением Фарадея в 1821 г. явилось создание первого электродвигателя с непрерывным вращением магнита вокруг проводника с током. В 1831 г. М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции. Он вывел законы возникновения и количественного определения величин ЭДС индукции, описал получение индукционного тока во вторичной катушке при размыкании и замыкании электрической цепи с первичной катушкой, т.е. возникновение или прерывание тока в этой катушке. Среди замыслов Фарадея было желание проверить свою основную гипотезу, что возникновение индукционного тока при изменении магнитного поля является следствием перемещения катушки с током относительно катушки без электричества, а также возможность возникновения индукционного тока в катушке, если переключить в ней постоянный магнит. Опыты убедительно подтвердили предсказания М. Фарадея, а открытие он назвал магнитоэлектрической индукцией. Выдающуюся роль в дальнейшей разработке законов электромагнитной индукции сыграл российский физик, академик Эмилий Христианович Ленц (1804–1865) [15].

Особенно велики его заслуги в исследовании явлений электромагнетизма. Большое значение с точки зрения взаимосвязи физических явлений имеет открытие опытным путем в 1841 г. теплового воздействия электрического тока. Ленц установил, что количество теплоты, выделяющейся при прохождении тока по проводнику, прямо пропорционально величине этого тока. Открытое английским физиком Джеймсом Прескоттом Джоулем (1818–1889) явление после классических измерений Ленца, которые были представлены в Петербурге в 1842 г., получило статус одного из важнейших законов физики, вошедший в науку под названием закона Джоуля–Ленца.

В 1851 г. Майкл Фарадей опубликовал свое исследование «Физические характеристики магнитных силовых полей».

Выдающимся продолжателем работ Фарадея был английский физик Джеймс Клод-Максвелл (1831–1879). Научная деятельность Максвелла охватывает ряд проблем молекулярной физики, оптики, механики, теории упругости. Главный вклад в науку совместно с кинетической теорией газов Максвелл сделал в области электромагнетизма. Если Фарадей дал первое обоснование учению об электромагнитном поле, то Максвелл, продолжая работы Фарадея, разработал теорию электромагнитного поля. Идеи Фарадея Максвелл изложил математическим языком, поскольку был выдающимся математиком.

В 1864 г. Максвелл предложил свою «динамическую теорию электромагнитного поля», в которой теоретически заметил, что электромагнитное возмущение распространяется в пространстве со скоростью света. Эти исследования обобщены в его работе «Трактат об электричестве и магнетизме», который опубликован в 1873 г., где доказано, что среда, которую изучал Фарадей, действительно существует и в ней можно построить периодическую переменную напряженность электрического и магнитного полей, которым присущи все свойства волн. Кроме этого, ученый обосновал существование электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью света. Это позволило однозначно установить связь света и электромагнетизма.

Математическим отражением теории Максвелла является его знаменитая система уравнений. А физическая гипотеза Максвелла о том, что магнитное поле создается током не только при движении зарядов в проводнике, а и при любом изменении электрического поля, является фундаментальной. Закон, установленный Максвеллом, связал скорость изменения в определенном месте электрического поля – так называемый ток смещения – с напряженностью созданного этими изменениями магнитного поля и наоборот. Принципиальным выводом в теории Максвелла относительно электромагнетизма является сочетание света и электромагнитного поля [16; 17].

Среди многочисленных работ выдающегося физика-теоретика Альберта Эйнштейна (1879–1955) есть статьи по электромагнетизму, в частности, «К электродинамике движущихся сред», которая посвящена формулировке теории относительности.

Российскому физiku, профессору Московского университета Александру Григорьевичу Столетову (1839–1896) принадлежат фундаментальные исследования в области магнетизма и фотоэлектрических явлений. Им выполнены важные исследования по электростатике. В докторской диссертации «Исследование о функции намагничивания мягкого железа» (1872) впервые доказано, что с увеличением напряженности намагничивающего поля магнитная восприимчивость железа достигает максимума, с уменьшением – уменьшается. Эти исследования способствовали как научным оценкам свойств ферромагнетиков, так и практическому использованию при конструировании электрических машин. О.Г. Столетов – автор наиболее точного метода определения соотношения электромагнитных и электростатических единиц. В 1881 г. на Международном конгрессе физиков А.Г. Столетов внес предложение об установлении единицы измерения сопротивления – Ом.

Следующим шагом в развитии электромагнетизма было создание ряда теорий, способствовавших пониманию основных свойств процессов и закономерностей в веществе при прохождении тока и явлений, которые вызывают магнитные свойства вещества. Теория, объясняющая различные свойства вещества, существование подвижных в ней носителей зарядов, в частности электронов, была названа электронной. Основы классической теории металлов заложил немецкий физик Пуаль Друде (1863–1906) в работе «К электронной теории металлов», которую он опубликовал в 1900 г. По этой теории электроны в металле образуют своеобразной газ, описание которого совпадает с законом идеального газа. В 1905 г. нидерландский физик Хендрик Лоренц (1853–1928) развил идеи П. Друде, использовав статику Максвелла–Больцмана [18].

Этапы развития электрохирургии. Первой электрической энергией, используемой в медицине, был постоянный ток. После открытия тепловых свойств электрического тока Александр Эдмон Беккерель изобрел инструмент (электронож) для прижигания тканей [19; 20].

С этого периода начинается история электрохирургии. В 1854 г. хирург *Albrecht Theodor Middeldorpf* (1824–1868) опубликовал первую монографию о применении электрического тока в хирургии и назвал этот метод «*galvanocautery*». В качестве источника тока использовались цинк-платиновые батареи. Предложенным способом можно было выполнять рассечение тканей и коагуляцию кровеносных сосудов. *A. Middeldorpf* разработал такие важные электрохирургические инструменты, как электронож и петля для удаления полиповидных опухолей. Эти инструменты – предки современного электрохирургического оборудования [21; 22]. *M. J. Roberts* [23] с помощью разработанных инструментов выполнял электроостеотомию.

В 1891 г. Алекс д'Арсонваль обнаружил, что прохождение переменного тока большой частоты через ткани организма приводит к тепловому воздействию. В начале XX в. он продемонстрировал, что радиочастотные токи могут нагревать живую ткань без болезненной стимуляции мышц и нервов. С этого периода началась современная электрохирургия [24].

В этом же 1891 г. в декабрьском номере журнала «*Electricalengineer*» была опубликована статья инженера Н. Теслы о тепловом эффекте, который он наблюдал при пропускании через человеческое тело переменных токов высокой частоты, получаемых с помощью сконструированного им генератора. Впервые им показано, что токи высокой частоты не обладают раздражающим действием, несмотря на высокое напряжение, и хорошо переносятся человеческим организмом, в то время как токи такой же силы, но более низкой частоты, являются для него опасными [25; 26].

В 1905 г. Цейнек использовал тепловой эффект тока для электрокоагуляции. В 1907 г. Форест с помощью аппарата д'Арсонваль и электрода (иглы) с изолированной рукояткой произвел бескровное рассечение тканей. Электрическая дуга производила бескровное рассечение тканей. Поскольку игла при этом не раскалялась, ей дали название «каль-каутер» (холодного каутера), а метод называли форестизацией. Регулировка глубины воздействия при этом была затруднительной – поверхностные слои обугливались раньше, чем разогревались более глубокие.

В 1907 г. *Doyen* предложил подкладывать под пациента металлическую пластину (пассивный электрод). Понятие электрокоагуляции как метода лечения ввел в 1909 году тот же *Doyen* [27; 28].

Czerny в 1910 г. успешно произвел рассечение тканей высокочастотным током [29].

В конце 1920-х гг. гарвардский физик и ботаник *Bovie* производит первую коммерческую машину, способную резать и коагулировать ткани человека, и электрохирургический инструмент для этих целей. Доктор Харви Кушинг, нейрохирург в Бостоне, популяризировал это электрохирургическое устройство, выполняя хирургические процедуры, которые ранее считались невозможными. В 1926 г. доктор Кушинг удалил остатки сосудистой миеомы. Результаты этой и других процедур были опубликованы в 1928 г. [30] и дали начало современной клинической электрохирургии.

Разработка хирургических электрокоагуляционных устройств началась в 20–30 гг. XX в. Первые генераторы, называемые аппаратами *Bovie*, представляли собой металлические шкафы, вес которых достигал 200 кг, потребляемая мощность 4000 Вт, напряжение для работы устройств 380 В. В медицинских учреждениях их начали широко применять его с 1960 г. До 1968 г. производство их было неизменным [31–34]. С 1935 г. начались разработки биполярного метода электрокоагуляции [35]. В 1940-х гг. американский нейрохирург Джеймс Гринвуд внедрил биполярную технологию [36]. В конце 40-х хирургом С.М. Шамраевским был предложен метод биполярной коагуляции кровеносных сосудов высокочастотным током [37].

Современная хирургическая практика предлагает большое количество электрокоагуляторов различных модификаций, удобных в применении, безопасных, экономичных, работающих в контактных и бесконтактных режимах. На мировом рынке представлены многочисленные высокочастотные электрохирургические аппараты, выпускаемые такими ведущими производителями, как «*Valleylab*», подразделение корпорации «*Covidien*» (США); «*Ethicon*», подразделение компании «*Johnson&Johnson*» (США); *KLS Martin Group* и *ERBE* (Германия) и др. Выпускаются подобные аппараты и в Украине, например, ЗАО «НИИ прикладной электроники» (Киев) [38].

В Институте электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) Национальной академии наук Украины в тесном сотрудничестве с ведущими медицинскими организациями с 1996 г. по настоящее время ведутся комплексные исследования по применению токов высокой частоты в хирургической практике. Разработаны и внедрены современные электрохирургические аппараты и инструментарий. Одним из приоритетных направлений научных исследований ИЭС является продвижение новых технологий и оборудования для соединения биологических тканей сваркой в следующие области хирургии: общую, абдоминальную, пульмонологию, проктологию, оториноларингологию, офтальмологию и др. Идейным вдохновителем и руководителем этих работ является академик Борис Евгеньевич Патон [39].

Исследования и разработки современных ученых различных специальностей направлены на улучшение качества оперативных вмешательств и увеличение объемов внедрения усовершенствованных электрохирургических технологий и аппаратуры.

Заключение. Обзор литературных источников показывает, что основы современных электрохирургических методов базируются на открытиях многих поколений выдающихся исследователей-экспериментаторов, теоретиков, в т.ч. врачей. Следует отметить, что известные ученые-медики прошлого стояли у истоков развития не только электротехники, но и сварки. Сварочные технологии в свою очередь способствовали развитию науки и техники в целом. Они успешно применяются в медицине.

Основные усилия ученых разных стран в настоящее время направлены на исследования и разработку усовершенствованных электрохирургических технологий и аппаратуры для улучшения качества оперативных вмешательств.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) Национальной академии наук Украины в тесном сотрудничестве с ведущими медицинскими организациями с 1996 г. по настоящее время ведутся комплексные исследования по применению токов высокой частоты в хирургической практике. Разработаны и внедрены современные электрохирургические аппараты и инструментарий. Одним из приоритетных направлений научных исследований ИЭС является продвижение новых технологий и оборудования для соединения биологических тканей сваркой в различных областях хирургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. O'Connor, J.L. William T. Bovie and electrosurgery / J.L. O'Connor and D.A. Bloom // *Surgery*. – 1996. – 119 (4). – P. 390-6.
2. Касперський, А.В. Вибрані питання історії електрорадіотехніки : навчальний посібник / А.В. Касперський, І.Т. Богданов. – К. : НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2009. – 212 с.
3. История медицины / П.Е. Заблудовский [и др.]. – М. : Медицина, 1981. – 352 с.
4. Філософський енциклопедичний словник. – Київ : Абрис, 2002. – 744 с.
5. Fawwaz T. Ulaby. Fundamentals of applied electromagnetics / Fawwaz T. Ulaby and Umberto Ravaioli. – Seventh Edition. – Pearson Education, Inc. – 2015. – 504 p.
6. Касперський, А.В. Вибрані питання історії електрорадіотехніки. Розділ 2. Електрика і магнетизм / А.В. Касперський, І.Т. Богданов, Л.В. Мініч. – Київ : НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2008. – 82 с.
7. Храмов, Ю.А. Дюфе Шарль Франсуа (DUFAY Charles Francois de Cisternay) / Ю.А. Храмов // *Физики : биограф. справ.* / под ред. А.И. Ахиезера. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Наука, 1983. – 400 с.
8. Кузнецов Б.Г. История энергетической техники. – М.-Л., Науч. тех. изд., 1937. – 312 с.
9. Касперський, А.В. Історичні передумови та розвиток науки про електрику і магнетизм до XIX століття // *Історія української науки на межі тисячоліть : зб. наук. праць* / А.В. Касперський, А.А. Лоха, І.Т. Богданов ; відп. ред. О.Я. Пилипчик. – Київ, 2008. – Вип. 33. – С. 99–106.
10. Дягилев, Г.Д. Из истории физики / Г.Д. Дягилев. – М. : Учгиз. 1981. – 184 с.
11. Григорьев, В.И. О физиках и физике / В.И. Григорьев. – 2-е изд. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 264 с.
12. Клецька, Т.С. Засновники Київського фізико-математичного товариства: Михайло Петрович Авенаріус (1835–1895) / Т.С. Клецька // *Історія науки і техніки*. – 2018. – Т. 8, вип. 1. – С. 23–30.
13. Фреїк, Д.М. Досягнення і проблеми термоелектрики: Історичні аспекти (Огляд) / Д.М. Фреїк, Л.І. Никируй, О.С. Криницький // *Фізика і хімія твердого тіла = PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE*. – Т. 13, № 2 (2012). – С. 297–318.
14. Томсон, Вільям // *Енциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона* : в 86 т. – СПб., 1890–1907.
15. Касперський, А.В. Історія розвитку електромагнетизму від Гальвані до Фарадея // *Історія української науки на межі тисячоліть : зб. наук. праць* / А.В. Касперський, Л.В. Мініч, А.А. Лоха ; відп. ред. О.Я. Пилипчик. – Київ, 2007. – Вип. 31. – С. 100–106.
16. Maxwell, J.C. A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field / J.C. Maxwell. – *Phil. Trans.*, 166, 1865. – P. 459–512. – (Reprinted in *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, Vol. 1, New York, Dover, 1952, pp. 528–597).
17. Dipak, L. Sengupta. Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the Early History of Electromagnetic Waves / Dipak L. Sengupta and Tapan K. Sarkar // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. – 2003. – Vol. 45, No. 2. – P. 13–19.
18. Касперський, А.В. Розвиток вчення про електрику і магнетизм від М.Фарадея до сучасності (історичний огляд) / А.В. Касперський, І.Т. Богданов, Н.М. Зазимко // *Зб. наук. праць Бердян. держ. пед. ун-ту. Пед. науки*. – 2008. – № 2. – С. 138–145.
19. Stillings, D. John Wesley: philosopher of electricity / D. Stillings // *Med Instrum.* – 1973. – 7(5). – P. 307.
20. Пахлеваян, В.Г. Электрокоагуляционный гемостаз, преимущества и недостатки / В.Г. Пахлеваян, С.А. Колесников // *Науч. ведомости БелГУ. Сер. Медицина. Фармация*. – 2016. – № 5 (226), вып. 33. – С. 5–9.
21. Брехов, Е.И. История развития электрохирургии до середины XX века / Е.И. Брехов, С.И. Аксенов // *Хирургия*. – 2008. – № 4. – С. 8–14.
22. Wicker, P. Electrosurgery. Part I : The history of diathermy / P. Wicker // *Br. J. Theater Nursing*. – 1990. – Vol. 27 (8). – P. 6–7.
23. Roberts, M.J. The electro-osteotome. A new instrument for the performance of the operation of osteotomy / M.J. Roberts. – New York : J.J. O'Brien, 1883. – 8 p.
24. d'Arsonval, A. Action physiologique des courants alternatifs a grande frequence / A. d'Arsonval // *Arch Physiol Porm Pathol*. – 1893 (25). – P. 401.
25. Долецкий, С.Я. Высокочастотная электрохирургия / С.Я. Долецкий, Р.Л. Дробкин, А.И. Ленюшкин. – М. : Медицина, 1980. – 198 с.
26. Шалимов, М.П. Сварка вчера, сегодня, завтра / М.П. Шалимов, В.И. Панов. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2006. – 250 с.

27. Clark, W.L. Oscillatory desiccation in the treatment of accessible malignant growths and minor surgical conditions. A new electrical effect / W.L. Clark // J. Adv. Ther. – 1911. – Vol. 29 (2). – P. 169–180.
28. Cushing, H. Electro-surgery as an aid to the removal of intracranial tumors. With a preliminary note on a new surgical-current generator by W. T. Bovie / H. Cushing, W.T. Bovie. – Surgical Publishing Company, 1928. – 34 p.
29. Белов, С.В. Исследование принципов электрохирургических воздействий и разработка научных основ проектирования аппаратов и устройств для высокочастотной электрохирургии : дис. ... д-ра. тех. наук : 05.11.17 / С.В. Белов. – М., 2004. – 253 л.
30. Cushing, H. B.W., Electrosurgery as an aid to the removal of intracranial tumors / H. Cushing // Surg Gynecol Obstet. – 1928 (47). – P. 751–84.
31. Schwaitzberg, S. Evolutions and revolutions in surgical energy. The fundamental use of surgical energy (FUSE) manual / S. Schwaitzberg ; ed. F.P. Feldman LS, Jones DB. – Springer, 2012.
32. Использование современных электрохирургических инструментов в практической хирургии / Д.П. Грицаенко [и др.] ; под ред. В.В. Гриценко. – СПб. : СПбГМУ, 2005. – 43 с.
33. Семенов, Г.М. Современные хирургические инструменты / Г.М. Семенов. – СПб. : Питер, 2006. – 345 с.
34. Давыдова, С.В. Оперативная эндоскопия, хирургические энергии: электрокоагуляция, аргонплазменная коагуляция. Радиоволновая хирургия, эндоклипирование / С.В. Давыдова, А.Г. Федоров. – М. : РУДН, 2008. – 102 с.
35. История развития физических методов гемостаза в хирургии / Н.Н. Малиновский [и др.] // Хирургия. – 2006. – 4. – С. 75–77.
36. Wound healing of skin incisions produced by ultrasonically vibrating knife, scalpel, electrosurgery, and carbon dioxide laser / R. Hambley [et al.] // J Dermatol Surg Oncol. – 1988. – 14 (11). – P. 1213–7.
37. Шахраевский, С.М. Современные проблемы электрохирургии / С.М. Шахраевский. – М. : Медгиз, 1950. – 221с.
38. Сварка, резка и термическая обработка живых тканей // Б.Е. Патон [и др.] // Автоматическая сварка. – 2013. – № 10–11. – С. 135–146.
39. Патонмед: Апарати для зварювання живих тканин [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://patonmed.com.ua/uk/golovna>.

Поступила 11.06.2021

HISTORICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF ELECTROSURGERY

A. DUBKO, N. CHVERTKO, A. LEBEDEV, A. DUDAN

The main sources of the development of modern electrosurgical methods, which are in ancient times, as well as the stages of the development of electrosurgery from the sources of its occurrence to the current state, are considered. The basis of these methods is the phenomenon of electromagnetism. A significant contribution to the discovery and study of this phenomenon was made by outstanding researchers, experimenters and theorists of all peoples of the world. It is noted that in the 18th century, doctors studied the effect of electricity on living tissues using electric machines and atmospheric electricity, and by the end of the 18th century basic ideas about electricity had already been created. The most important phenomena of electrostatics were studied and its mathematical justification was performed. At the beginning of the 19th century, electric current was in the focus of experimental and theoretical physics, and the phenomena of the conversion of electricity into heat were of particular theoretical and practical importance. Today on the world market there are numerous high-frequency electrosurgical devices. One of the priority areas of research at the Institute of Electric Welding. E.O. Paton is the introduction of new technologies and equipment for joining biological tissues by welding in medicine.

Keywords: electric current, electromagnetism, medical practice, electrical engineering, biological tissues, electrosurgery.

ПОЗДРАВЛЕНИЕ

профессору Полоцкого государственного университета
ВЛАДИМИРУ ПЕТРОВИЧУ ИВАНОВУ



30 августа этого года исполнилось 80 лет со дня рождения известного ученого и выдающегося специалиста в области технологии машиностроения доктора технических наук, профессора Владимира Петровича Иванова.

Уже почти 45 лет жизнь Владимира Петровича связана с Полоцким государственным университетом. Начинал он как совместитель, сочетая преподавание с ответственной руководящей работой на крупном предприятии и научно-исследовательской деятельностью. Сегодня Владимир Петрович профессор кафедры автомобильного транспорта. За годы работы в университете он завоевал огромный авторитет и уважение со стороны коллег, аспирантов, магистрантов и студентов.

Владимир Петрович Иванов родился в Саратове. Окончил Белорусский политехнический институт по специальности «Автомобильный транспорт», получив квалификацию инженера-механика (1970), аспирантуру Московского автомобильно-дорожного института по специальности «Автомобили и тракторы» (1975). Самостоятельный трудовой путь начал в 1959–1960 гг. – механик автобазы, затем военнослужащий срочной службы (1960–1963), механик автобазы (1963–1964), конструктор, начальник конструкторского бюро, главный технолог и технический директор на Полоцком заводе «Проммашремонт» (1964–2001); профессор Полоцкого государственного университета с 2001 г.

Научные интересы – технологическая подготовка и организация ремонтного производства, синтез средств и процессов производства; безопасность дорожного движения; безопасность труда и охрана окружающей среды. На протяжении всего периода научной деятельности Владимир Петрович внес достойный вклад в развитие науки.

Сочетая преподавание с научно-исследовательской деятельностью, последние двадцать лет Владимир Петрович полностью сосредоточился на работе механико-технологического факультета. Он уделяет пристальное внимание подготовке молодых ученых, готов дать совет и прийти на помощь в любой ситуации. Его ученики

успешно занимаются научной деятельностью по таким важным направлениям, как технологии восстановления коленчатых валов двигателей из высокопрочного чугуна и конструкционной стали напылением, наплавкой и поверхностным пластическим деформированием; обеспечение безопасной работы нефтеперерабатывающего оборудования на основе контроля деградации структуры и изменения механических свойств материала конструкций; обеспечение безопасности труда и охраны окружающей среды внедрением технологий утилизации нефтесодержащих отходов.

Владимир Петрович – автор более 340 научных и учебно-методических работ, в т.ч. 8 монографий, 2 справочников, 7 учебников и более 20 учебных пособий, по которым готовят инженеров и техников не только в Беларуси, но и в России, Украине и Молдове.

Профессора В.П. Иванова отличают высокая научная компетентность, глубокие научные знания и опыт, трудолюбие, целеустремленность. Его научный и инженерный опыт широко востребован. На протяжении многих лет он председатель редакционного совета научно-теоретического журнала «Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки», член редакционных советов следующих изданий: «Технический сервис машин» (Москва); «Труды Молдавского государственного аграрного университета» (Кишинев).

Член докторского Совета Белорусского национального технического университета Д 02.05.04 – эксплуатация автомобильного транспорта; Совета по защите кандидатских диссертаций Полоцкого государственного университета К 02.19.01 – охрана труда (топливная и химическая промышленность). Владимир Петрович выступает в качестве оппонента по многим докторским и кандидатским диссертациям; осуществляет организацию научных конгрессов, симпозиумов, конференций: «Фундаментальные основы и практический опыт при проведении сервиса и рециклинга техники: Евразийский конгресс» (Москва), «Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto = Достижения и перспективы в области аграрной инженерии и автомобильного транспорта» (Кишинев), «Инновационные технологии в машиностроении» (Новополоцк); «Новые технологии и материалы, автоматизация производства» (Брест); «Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей» (Москва).

Профессор В.П. Иванов активно участвует в работе учебно-методического объединения Министерства образования Республики Беларусь по транспорту и транспортной деятельности, научно-технического совета Полоцкого государственного университета и совета механико-технологического факультета.

За особые заслуги Владимир Петрович отмечен медалью «Ветеран труда» (1988), почетным званием «Ветеран завода» (Полоцкий Орден Трудового Красного Знамени авторемонтный завод, 1995), Почетной грамотой Минсельхозпрода Республики Беларусь (1997), специальным призом «Крыніца ведаў» в номинации «Преподаватель года» (2010), Грамотой Министерства образования Республики Беларусь (2011), Почетной грамотой Министерства образования Республики Беларусь (2015), знаком «Отличник образования Республики Беларусь» (2018), медалью «За верность ремонтному делу» Российского сварочного научно-технического общества.

Профессор В.П. Иванов постоянно пропагандирует инженерные знания для углубления научно-производственных контактов, широкого внедрения новейших достижений научно-технического прогресса в инженерную практику и учебный процесс. Плодотворно сотрудничает с коллегами из Беларуси, России, Германии в различных областях науки и сфере образования. Обладая глубокими научными знаниями и опытом, Владимир Петрович постоянно находится в творческом поиске научных идей, стремится к повышению квалификации.

В обычной жизни Владимир Петрович романтик, любит музыку, в основном классические произведения, романсы, получает удовольствие от чтения книг. Его страсть – путешествия. Во время горных походов прошел по долинам, хребтам и перевалам около 2 тысяч километров. Был на Алтае, Памире, Тянь-Шане, Кавказе, Урале, в Карпатах и Крыму. Путешествуя по Швейцарии, видел Альпы. Был на Эльбрусе, Байкале, Иссык-Куле, в Кижях и многих других интересных местах. Путешествуя по городам Европы, Владимир Петрович посещает университеты, в частности Берлинский университет имени Гумбольдта, давший миру 29 лауреатов Нобелевской премии, а его профессорами был Роберт Кох, Макс Планк и Альберт Эйнштейн. В поездках познается мир, происходят встречи с разными людьми, учеными, что позволяет знакомиться с лучшими достижениями зарубежных коллег в области своих научных интересов.

Несмотря на серьезную дату, Владимир Петрович полон сил и продолжает работать над проблемами развития отечественной науки в области машиностроения, промышленной экологии, охраны труда и подготовки кадров высшей квалификации,

Коллеги и друзья, ученики, а также редколлегия журнала «Вестник Полоцкого государственного университета» поздравляют Владимира Петровича с юбилеем! Желаем ему сохранять неиссякаемый оптимизм, творчески подходить к трудностям и достигать успехов в любых начинаниях.

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Голембиевский А.И.</i> Авторская научная дисциплина «Основы системологии и синтеза способов формообразующей обработки резанием»	2
<i>Попок Н.Н., Беляков Н.В., Янович В.В.</i> Система поддержки принятия решений по размерной настройке торцовых фрез для программирования обработки на станках с ЧПУ	7
<i>Пилипенко С.В., Григоренко В.У.</i> Повышение точности определения Q -фактора в контрольных сечениях конуса деформации стана холодной пильгерной прокатки труб	18
<i>Прудников А.П., Бодунова А.Д.</i> Выбор и расчет подшипниковых узлов планетарной торовой винтовой передачи	25

ТРАНСПОРТ

<i>Пантелеенко Ф.И., Карпец М.Н, Белоцерковский М.А., Сосновский А.В.</i> Влияние режимов гиперзвуковой металлизации на прочность сцепления металлических покрытий	31
<i>Капский Д.В., Леванович Д.В., Вигерина Т.В., Головнич А.К.</i> Применение методов видеоконтроля дорожного движения: теоретические и практические основы	37
<i>Капский Д.В., Леванович Д.В., Иванов В.П., Головнич А.К.</i> Совершенствование законодательства Республики Беларусь по вопросам фото- и видеофиксации скоростных правонарушений в автоматическом режиме	45
<i>Гурский А.С.</i> Анализ возможности использования цифрового датчика расхода топлива в системе корректирования периодичности технического обслуживания и трудоемкости текущего ремонта	51
<i>Шимукович П.Н.</i> Сопряжение основной творческой процедуры и дополнительных процессов как условие эффективного генерирования новых идей	59
<i>Пилипенко С.В., Штемпель О.П., Фруцкий В.А., Кострицкий В.В.</i> Восстановление работоспособности соединения игла–корпус распылителя форсунок дизельных двигателей	65

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Дронченко В.А., Струк Т.С., Голубева О.В.</i> Программа поиска оптимального технологического процесса термической утилизации нефтесодержащих отходов с обеспечением требований охраны труда	73
<i>Сафронова Е.В., Спиридонов А.В., Голубев Т.В.</i> Современные методы улавливания углеводородов при хранении и транспортировке	79
<i>Лапкина Е.В.</i> Исследование многофункциональных инсектицидных полимерных пленок с биозащитными свойствами	87

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

<i>Дубко А.Г., Чвертко Н.А., Лебедев А.В., Дудан А.В.</i> Исторические аспекты развития электрохирургии	94
<i>Поздравление Владимиру Петровичу Иванову</i>	102