

Федеральное агентство по рыболовству
Российский союз инженеров
Международный союз машиностроителей
Камчатский государственный технический университет
Донецкий национальный технический университет
Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета
Кубанский государственный университет

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы
международной научно-технической конференции
(17–19 октября 2018 г.)*

Часть 2

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский
2019

УДК 656.6:629.5
ББК 39.42-08
Т38

Ответственный за выпуск

О.А. Белов,
кандидат технических наук

Редакционная коллегия

*О.А. Белов, к.т.н. (председатель);
А.В. Костенко, к.т.н.; С.Ю.Труднев, к.т.н.;
О.В. Ольхина; А.А. Седельникова; Т.В. Гудожникова; А.М. Нефедов*

Т38 **Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития** : материалы международной научно-технической конференции (17–19 октября 2018 г.) : в 2 ч. / отв. за вып. О.А. Белов. – Ч. 2. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2019. – 152 с.

ISBN 978-5-328-00386-5
ISBN 978-5-328-00388-9 (ч. 2)

В сборник включены материалы Международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития», отражающие научные и практические результаты в области технической эксплуатации водного транспорта.

Освещены актуальные проблемы, представлены современные достижения и перспективные направления развития в таких областях, как судовождение, судостроение и судоремонт, электротехнические комплексы и системы, информационные технологии и моделирование, технологические машины и оборудование, наукоемкие технологии изготовления и ремонта деталей судов и судовых агрегатов, подготовка инженерных кадров.

Авторами представленных докладов являются преподаватели, ведущие сотрудники научно-исследовательских институтов, аспиранты и студенты высших учебных заведений, ведущих научную и образовательную деятельность в сфере водного транспорта.

УДК 656.6:629.5
ББК 39.42-08

ISBN 978-5-328-00388-9 (ч. 2)
ISBN 978-5-328-00386-5

© КамчатГТУ, 2019
© Авторы, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Белов Н.И., Чабанов Е.А. Роль прикладного программирования, применяемого в технологии транспортных процессов | 5 |
| Евдокимова М.А., Сагдиев Р.Р., Чабанов Е.А. Значение информации в принятии управленческих решений и управлении транспортом | 11 |
| Жуков В.А., Мельник О.В. Информационно-измерительные системы для испытаний судовых дизелей | 16 |
| Зачёсов А.В., Дерябина И.С. Информационные технологии в основной деятельности речного транспорта Сибири | 20 |
| Медведев В.В., Киселёв С.Н. Разработка и оптимизация программы для вычисления конструктивного коэффициента энергетической эффективности EEDI | 23 |
| Облаухова М.В., Полетайкин А.Н. К задаче управления развитием трудовых ресурсов отрасли водного транспорта..... | 28 |
| Ольховик Е.О. Исследование количественных характеристик морских транспортных потоков на маршрутах Северного морского пути | 33 |
| Осипян В.О. Математическая модель алфавитной асимметричной криптосистемы, содержащей диофантовы трудности с проверкой на модификацию данных..... | 39 |
| Полетайкин А.Н. Генетический алгоритм построения оптимального маршрута автомобиля по принципу задачи коммивояжера | 44 |
| Татьянченко А.Г. Имитационное моделирование тепловых процессов при чистовой обработке отверстий осевым инструментом | 48 |
| Ченцов Н.А., Сулейманов С.Л. Использование модели роста для аппроксимации функций, определяемых износом детали..... | 53 |

СЕКЦИЯ 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Азаренков Д.П., Рогатых С.В. Метод расчета времени воздействия некоторых вредных производственных факторов на организм человека..... | 57 |
| Гутаревич В.О., Игнаткина Е.Л. Общие логистические подходы к формированию процесса перевозки грузов подвешенной монорельсовой дорогой | 61 |
| Деревцов Е.М., Кича Г.П. Закономерности процессов при регенерации отработанных моторных масел с применением штатного судового оборудования..... | 64 |
| Заляева Г.О., Голубенко М.М. Оценка эксплуатационной надежности технологической линии розлива минеральной воды | 67 |
| Заляева Г.О., Лебедева А.П. Определение вероятности безотказной работы зубчатой передачи..... | 72 |
| Иодис В.А. Передвижные азотные скороморозильные комплексы для переработки моллюсков | 77 |
| Мищенко Т.П. Анализ применения трудногорючей конвейерной ленты в условиях аварийной ситуации на роликотпорах ленточного конвейера..... | 82 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Степанова Е.А., Абрахимов И.Р. Средства хранения и транспортировки нефти и газового конденсата с морских нефтегазовых месторождений | 86 |
| Степанова Е.А., Малахов Р.В. Способы транспортировки нефти и нефтегазовых продуктов..... | 89 |
| Шевченко С.В., Муховатый А.А. Варианты разбивки передаточного числа редуктора Ц2с по ступеням | 94 |

СЕКЦИЯ 6. НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ СУДОВ И СУДОВЫХ АГРЕГАТОВ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ивченко Т.Г., Михайлов А.Н., Пащук О.Ю. Повышение производительности точения труднообрабатываемых материалов с применением СОТС..... | 98 |
| Матвиенко С.А. Анализ особенностей влияния эксплуатационных факторов на деталь | 102 |
| Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлов Д.А., Костенко А.В., Пичко А.П., Пичко Н.С. Новые тенденции в повышении ресурса газотурбинных двигателей и установок на основе обеспечения функционально-ориентированных свойств | 106 |
| Михайлов А.Н., Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н., Лукичев А.В. Функционально-ориентированный анализ условий эксплуатации и технологий изготовления сферических шарнирных соединений транспортных машин | 112 |
| Рябичев В.Д., Витренко В.А. Характерные особенности формообразования зубьев гиперболоидного зуборезного инструмента | 116 |
| Хавлин Т.В., Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., Михайлов В.А., Глухов С.В. Создание функционально-ориентированной технологии повышения ресурса лопаток турбин авиационных двигателей | 119 |
| Хаустова А.В., Солодовник М.Д., Кузнецова М.Н. Технологическая устойчивость при производстве оболочек вращения методом ротационной вытяжки | 124 |

СЕКЦИЯ 7. ГУМАНИТАРНАЯ СЕКЦИЯ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Агеев В.А. Реализация особого правового режима осуществления предпринимательской деятельности в рамках территории опережающего социально-экономического развития «Камчатка» и «Свободный порт Владивосток» в Камчатском крае..... | 128 |
| Гуковская Т.Г., Витренко И.П. К вопросу использования лексических фраз для обучения письменной речи | 134 |
| Казанбаев А.Д., Чабанова Е.В. Проблема вредного воздействия транспорта на окружающую среду | 137 |
| Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., Шейко Е.А., Костенко А.В., Лукичев А.В., Хавлин Т.В., Пичко А.П. Особенности становления и развития Донецкой научной школы технологов-машиностроителей | 140 |
| Полетайкин А.Н., Данилова Л.Ф., Костенко А.В. Методика автоматизированного построения компетентностной модели для подготовки специалистов водного транспорта..... | 144 |
| Солодовник М.Д., Кузнецова М.Н., Кудренко Д.А. Об одном подходе в начальной подготовке специалистов в области робототехники..... | 150 |

СЕКЦИЯ 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 005:004.9: 656.025.4

Н.И. Белов¹, Е.А. Чабанов^{1,2}

¹ *Пермский филиал
Волжского государственного университета водного транспорта,
Пермь, 614060
e-mail: nikitawhite1999@gmail.com;*

² *Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, 614990
e-mail: ceapb@mail.ru*

РОЛЬ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО В ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Вопросы необходимости автоматизации различных бизнес-процессов на сегодняшний день имеют особую актуальность. В современной реальности составлять достойную конкуренцию могут только компании, которые используют передовые информационные технологии. Не в меньшей степени это относится и к предприятиям транспортного комплекса. В первую очередь необходимо отметить высокую ресурсоемкость подобных предприятий. В их работе зачастую задействовано немалое количество сотрудников, поэтому возникает необходимость четкого соблюдения графиков перевозок, учета зависимости финансовых показателей от текущей деятельности компании и общей сложности управления и контроля всего процесса.

Бизнес транспортных компаний весьма разнороден, поэтому автоматизация каждой из отраслей имеет свою специфику в части организации бухгалтерского, складского учета, а также материально-технического снабжения. В части систем управления перевозками грузов и пассажиров требуется определенный набор технологических знаний в соответствующих областях транспорта.

В статье проанализирована роль прикладного программирования, применяемого в технологиях транспортных процессов: исследованы предпосылки применения прикладного программирования в данной области деятельности человека; определены преимущества его применения; рассмотрены примеры программных продуктов автоматизации управления транспортными процессами и их роль.

Ключевые слова: прикладное программирование, транспортные процессы, информационные технологии.

N.I. Belov¹, E.A. Chabanov^{1,2}

¹ *Perm branch
of Volga State University of Water Transport,
Perm, 614060
e-mail: nikitawhite1999@gmail.com;*

² *Perm National Research Polytechnic University,
Perm, 614990
e-mail: ceapb@mail.ru*

THE ROLE OF APPLIED PROGRAMMING IN TRANSPORT PROCESSES TECHNOLOGY

The necessity of various business processes automation is of particular relevance today. In modern reality, only companies that use advanced information technologies can make worthy competition. This also applies to the transport complex enterprises. First of all, it is necessary to note the high resource intensity of such enterprises. Their work often involves a large number of employees, so it is necessary to strictly comply with the traffic schedules, to keep records of financial indicators dependence on the company's current operations and total process management and control.

The transport companies business is rather dissimilar therefore each branch automation has its own character in the organization of accounting, warehouse accounting, as well as material and technical supply. As to the cargo and passenger transportation management systems a certain set of technological knowledge in the relevant areas of transport is required.

The role of applied programming used in transport technologies is analyzed in the article: the prerequisites for applied programming implementation in this field of human activity are investigated; the advantages of its use are determined; examples of software products for automating the transport processes management and their role are examined.

Key words: applied programming, transport processes, information technologies.

Транспортная отрасль имеет серьезное значение как для благополучной жизни населения страны, так и для нормального функционирования бизнеса и государства в целом.

Компании, работающие в транспортной отрасли, при внедрении неверных инновационных ИТ-решений или при отсутствии хороших систем автоматизации могут сталкиваться с рядом трудностей, таких как:

- оптимизация транспортных расходов, связанных с эксплуатацией подвижного состава;
- заполняемость транспорта, контроль перегрузов или, наоборот, недогрузов транспортных средств и, как следствие, получение штрафа от надзорных и контролирующих служб;
- сложности составления оптимальных маршрутов движения и планирование транспортного процесса;
- медленный документооборот; высокая конкуренция в этой бизнес-сфере [1].

Большая территориальная удаленность объектов друг от друга, неудовлетворительное качество транспортного обслуживания, невозможность организации работы без оператора, а также неправильный выбор транспортного средства (ТС) – все это приводит к высоким издержкам и, как следствие, финансовым потерям.

В транспортной отрасли предприятиям приходится прибегать к сервису посредников, где велик риск экономических махинаций, связанных с предоставлением недостоверных данных о количестве перевезенного груза и использовании транспортных средств.

Всегда в процессе присутствует еще один человек – оператор перевозок, координирующий все действия, контролирующий информационный поток [2].

Именно человек является «слабым звеном» всего процесса: допускает ошибки зачастую из-за простой халатности.

Чтобы избежать этого и многих вышеописанных проблем, нужно использовать помощь качественных решений по автоматизации (контролю груза, взвешиваний, перемещений ТС) транспортной отрасли, общее название которых – АСУ ТП.

Эти инженерные продукты гарантируют защиту производства и бизнеса. Хорошо налаженная транспортная логистика способствует установлению благоприятных внешнеэкономических отношений, помогает установить сообщение между объектами одной области и между регионами, позволяет расширять географию поставок [3].

Современные автоматизированные комплексные программно-аппаратные решения для диспетчеризации транспорта, мониторинга, управления в транспортной отрасли, парковочные системы, коммерческие дороги и переправы способны качественно и быстро решать многие сложности, предупреждать возникновение чрезвычайных ситуаций.

Общие преимущества, которые появляются при использовании АСУ ТП:

- получение достоверных данных в режиме реального времени и, как следствие, управляемость бизнес-процессов транспортной и логистической инфраструктуры;
- техногенная, экономическая и террористическая безопасность предприятия (предотвращение аварий и внезапных ситуаций, несанкционированных проездов на территорию и т. п.);
- контроль осуществляется с помощью аппаратных средств и интеллектуальных технологий распознавания образов, номеров, событий и видеоаналитики: радиочастотной идентификации (активные и пассивные RFID-метки), датчиков температур, радиационного контроля;
- регулирование/управление логистикой, движением ТС на федеральных автострадах, коммерческих дорогах и переправах, управление многоэтажными паркингами с предоставлением информации водителю о наличии свободных мест (удобство + безопасность);
- предоставление более качественного сервиса заказчику (услуга выполняется быстрее, «под рукой» имеется самая полная информация о взаимоотношениях с клиентом);
- обеспечение оптимальной загрузки транспортного средства;
- придание объектам транспортной инфраструктуры более высоких потребительских качеств;

- исключение заторов, увеличение пропускной способности на территории объекта;
- значительная экономия финансовых и временных ресурсов;
- устранение ошибок, вызванных человеческим фактором;
- оптимизация выполнения заявок на доставку грузов;
- снижение эксплуатационных затрат [4].

В результате внедрения этих технологий возможно улучшить взаимодействие с различными типами технических и программных компонентов информационных систем устранением промежуточных звеньев посредством интеграции информационных потоков, глобализацией логистических систем, постепенным слиянием различных процессов в глобальной системе обмена материальными, энергетическими, финансовыми и информационными потоками.

Проведем анализ основных предпосылок, проблемы, а также практик программного обеспечения транспортных процессов.

Наряду с общими для всех транспортных предприятий задачами, в сфере пассажирских перевозок есть своя специфика, касающаяся сервиса и обслуживания пассажиров. Быстро и удобно купить билет, сделать пересадку, легко сориентироваться в незнакомом месте – это требования современных пассажиров, которым любое конкурентоспособное предприятие транспортной отрасли должно соответствовать.

Одной из насущных и специфических проблем для транспортных предприятий, работающих в различных сферах городских и пригородных пассажирских перевозок, является внедрение автоматизированных систем оплаты проезда (АСОП).

В любом городе существует множество предприятий, работающих в сфере пассажирских перевозок. Однако пассажиру, которого интересует лишь комфорт и быстрота передвижения, совершенно не интересно разбираться в тонкостях их взаимоотношений.

Решение, повышающее эффективность работы пассажирского транспортного комплекса в целом, а также на уровне отдельного мегаполиса, находится в области создания общей системы, синхронизирующей и унифицирующей билетное меню, к которому подключаются все операторы, включая коммерческие.

Подобной системе необходимо учитывать также все категории льготных пассажиров, которые должны получить возможность льготного проезда на любом виде муниципального и коммерческого транспорта, согласно законодательству [5].

Мировая практика показывает, что наиболее эффективная и жизнеспособная система – это когда АСОП находится под каким-то одним оператором, который организует продажу билетов, аккумулирование и учет доходов, прочие операции, связанные с билетами на транспорт.

Перевозчики, подключаясь к этой системе, получают доход от предоставления транспортных услуг. То есть подобные системы должны строиться как на автоматизации оплаты проезда, так и на автоматизации контроля транспортной работы.

Примерами подобных удачно работающих систем могут служить смарт-карты Octopus, действующие в Гонконге, по которым, кстати, можно не только оплачивать проезд в общественном транспорте, но и рассчитываться за покупки в магазинах, ресторанах и торговых автоматах, или же лондонская транспортная карта Oyster, с помощью которой можно передвигаться в лондонском метро, автобусах, London Overground («лондонская надземка»), поездах легкого метро (DLR), трамваях, а с 2010 г. – в большинстве поездов пригородных направлений [1].

На сегодняшний день в российской отрасли междугородного автобусного сообщения сложилась ситуация, когда пассажир привязан даже не к локальному перевозчику, а к месту отправления. Билеты продаются только в том направлении, куда осуществляется перевозка. А если необходима поездка с пересадкой на стыковочных рейсах, то проблемы и неудобства, связанные с приобретением проездных билетов, возрастают на порядок.

Единая система способна разрешить эти проблемы. Все перевозчики, подключившись к ней, могли бы размещать там информацию о маршрутах, количестве бортов, тарифах и т. д. Все это позволит пассажирам легко планировать мультимодальные поездки, предполагающие разные виды транспорта.

Пример успешного внедрения подобной системы – организация мультимодальных перевозок в Крым с использованием единого проездного документа на разные виды транспорта: железную дорогу, морской паром, автобус [6].

Мировая практика показывает, что сбор доходов от оплаты проезда пассажирами в крупных мегаполисах, таких как Москва, требует нестандартных решений с использованием интернет-

технологий. Однако внедрение новых каналов продаж происходит не так быстро, как хотелось бы: несмотря на стремительное развитие мобильных сервисов, существенный объем продаж по-прежнему идет через обычные кассы.

Однако повышение рентабельности сбора доходов невозможно без оптимизации операционных издержек на кассовое обслуживание. При этом существенно важно повышать уровень качества и доступности сервиса продажи билетов на проезд. Работа кассира сопряжена со всеми рисками, обусловленными человеческим фактором: ошибки, мошенничество, потеря производительности и др. Введение системы продаж билетов в формате самообслуживания – это необходимое требование любой эффективной системы городского общественного транспорта.

Так, например, компания ПСС разработала и поставляет новые терминалы автоматизированной продажи билетов для городского общественного транспорта Москвы.

Решение об установке терминалов было принято в связи с катастрофическим увеличением количества очередей в кассах и с потерей, в связи с этим, качества обслуживания пассажиров, рентабельности сбора доходов и повышения уровня операционных издержек. Естественным выходом из сложившейся ситуации стала автоматизация.

В 2012 г. во всех вестибюлях Московского метрополитена было установлено 1 200 билетных автоматов, которые по итогам первого года работы обеспечили до 40% всех продаж билетов на 1–2 поездки по картам MIFARE Ultralight за наличный расчет [7].

Одновременно с автоматизацией процесса продаж билетов компания «Передовые системы самообслуживания» предлагает решения по оптимизации издержек на обслуживание и поддержанию работоспособности всего парка автоматов по продажам билетов, – уникальный программный продукт – «ПСС. Платформа». Эта система обеспечивает централизованный мониторинг и управление сетью терминальных устройств, что, в свою очередь, позволяет поддерживать качество сервиса продажи билетов.

В отличие от метрополитена, наземный общественный транспорт подходит к решению аналогичной задачи постепенно. Происходит замена обычных киосков автоматами.

Сейчас в процессе реализации находится интересный и сложный проект по запуску в промышленную эксплуатацию терминалов по продаже билетов, который реализует ГУП «Мосгортранс» совместно с компанией «Передовые системы самообслуживания». Терминалы по продаже билетов представляют собой уникальные по конструктивным и функциональным особенностям устройства, которые в максимально агрессивной среде (диапазон температур от –50 до +50, переменная влажность, осадки) имеют полный функционал по продаже билетов на наземный транспорт: практически все билетное меню, возможность пополнять «Тройку», принимать наличные, выдавать сдачу, работать с безналом. И все это – в круглосуточном режиме.

Одновременно идет замена устаревших остановочных пунктов. Новые остановки оформляются в фирменном стиле «Московского транспорта» – в красных и белых цветах. Часть из них также оборудована автоматами по продаже билетов [7].

Получение своевременной информации очень важно для современного мегаполиса. Это вопрос не только комфорта, но и безопасности в случае возникновения чрезвычайных ситуаций и минимизации их последствий за счет эффективного оповещения. Система обязательно должна учитывать нужды людей с ограниченными возможностями, а также быть интегрирована с системами экстренных служб. Качественная и доступная система информирования, несомненно, повышает туристическую привлекательность отдельно взятого региона.

В отдельную категорию входит служебная территория, где размещаются внутренние службы транспортного узла, а также – сам подвижной состав. И во всех этих условно выделенных пяти контурах необходимо создавать соответствующую инфраструктуру: это могут быть сенсорные киоски с интерактивными сервисами и кнопкой селекторной связи с экстренными службами или же специализированные табло, информационные панели, средства аудиооповещения и многое другое.

Мобильные интернет-сервисы станут хорошим дополнением к данной инфраструктуре – они смогут существенно повысить качество информирования и скорость экстренного оповещения [8].

Для обеспечения прибыльности транспортным пассажирским компаниям важно эффективно работать с наличной выручкой. Несмотря на то, что доля безналичных платежей в целом повышается, в абсолютных величинах объем наличной выручки возрастает из-за увеличения объема денежной массы в целом. Процессы сдачи, пересчета, хранения и учета наличности до момента

инкассации достаточно трудоемкие и сопряжены с криминальными и другими рисками, связанными с человеческим фактором. Не менее остро стоят вопросы безопасного хранения наличной выручки на удаленных пунктах взимания платы и сдачи выручки, а также ее инкассации. Особенности тарификации на городских маршрутах и пригородном сообщении предполагают дорогостоящий и трудоемкий процесс сдачи и хранения наличной выручки монетами.

Внедрение автоматизированной системы приема и хранения выручки предполагает использование автоматизированных депозитных машин (АДМ) с модулями автоматического приема банкнот и монет. У компании ПСС есть специальное решение для централизованного управления и мониторинга сетью модулей АДМ, которое также позволяет через специальный веб-интерфейс получать отчетность о сданной выручке. Эта комплексная система позволяет транспортному предприятию экономить на стоимости инкассации в удаленных пунктах сбора доходов за счет хранения выручки в АДМ в течение нескольких дней, снизить затраты на закупку кассовой техники, оптимизировать издержки на обслуживание всего парка АДМ, а также – затраты на персонал [1].

Количество платных дорог в России неизбежно будет увеличиваться. Об этом свидетельствует мировой практический опыт. Поэтому автоматизированные системы взимания платы будут все более востребованы.

Как правило, пункты взимания платы на автодорогах значительно удалены от централизованного офиса, то вполне логично их оборудование автоматическими кассами для обеспечения взимания платы за проезд в формате самообслуживания, а также системами считывания транспондеров. Подобные системы со временем станут все более распространены благодаря своему удобству и простоте использования. Водителям такое решение позволит быстро и комфортно оплачивать проезд, а оператору проводить мониторинг всей системы.

В связи с этим актуальной становится задача развертывания инфраструктуры для распространения транспондеров. В настоящее время компания ПСС как раз прорабатывает проект по созданию автоматизированного устройства вендинга транспондеров.

Оценивая перспективы развития информационных технологий в транспортной отрасли, можно выделить две основные тенденции.

Во-первых, это унификация и централизация решений, которые необходимы для дальнейшего развития всей транспортной отрасли.

И это мировая практика: единый системный оператор, к которому подключаются независимые агенты и партнеры, единая система, которая имеет, в том числе, свой API с возможностью разработки собственных «надстроек», единая база данных, подключившись к которой агенты могут использовать всю накопленную статистику для своей работы.

А пассажир должен получать любую услугу буквально «в два клика». Тогда уровень комфорта и уровень удовлетворенности услугой будет только возрастать.

Во-вторых, современная реальность такова, что транспортная отрасль (как и большинство других отраслей) представляет собой некую распределенную инфраструктуру различного рода объектов: будь то терминал самообслуживания, табло информирования, линии придорожного освещения, шкафы автоматики и пр.

Литература

1. *Шаикова И.Г.* Информационные технологии на транспорте // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 1-1. – С. 68–75.
2. *Согомонян С.Г.* Современные информационные технологии на транспорте // Логистика в портфеле ресурсов импортозамещающей индустриализации: антикризисные стратегии роста и развития в условиях санкционных ограничений: Материалы международного научно-практического XI Южно-Российского логистического форума. – 2015. – С. 180–184.
3. *Гвоздева В.А.* Информатика, автоматизированные информационные технологии и системы: Учебник. – М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 544 с.
4. *Чеботарева Ю.А.* Информационные технологии транспортной инфраструктуры в России // Транспорт, наука, образование в XXI веке: опыт, перспективы, инновации: Материалы VII Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 228–231.
5. *Шаикова И.Г.* Информационные технологии на транспорте // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 1-1. – С. 68–75.

6. *Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н.* Информационные технологии на автомобильном транспорте: Учебник. – М.: Academia, 2014. – 256 с.
7. *Волобуев Д.В., Куренбаев А.Н.* Информационные технологии на транспорте // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. – № 6-2 (90). – С. 106–108.
8. *Кулиев М.А.* Современный рынок транспортных услуг России: проблемы и перспективы развития // Наука, техника и образование. – 2017. – № 8 (38). – С. 48–51.
9. *Якупов Д.И., Епанешников В.В.* Информационные технологии в транспорте // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 5-3. – С. 350–354.

УДК 005.53:656.025.2

М.А. Евдокимова¹, Р.Р. Сагдиев¹, Е.А. Чабанов^{1,2}

¹ *Пермский филиал
Волжского государственного университета водного транспорта,
Пермь, 614060;*

² *Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, 614990
e-mail: ceapb@mail.ru*

ЗНАЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В ПРИНЯТИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ

Современный мир характеризует стремительность процессов во всех сферах жизнедеятельности общества, а также стремление человека как можно более эффективно управлять процессами, оптимизируя и адаптируя их в условиях изменчивости окружающей среды. Важнейшим условием для развития любой сферы бизнеса становится выполнение не только параметров качества предоставляемых услуг и адекватная экономия материальных ресурсов, но и грамотное использование важнейшего из ресурсов – времени.

В данной работе проанализированы требования, определены общие аспекты информационной поддержки принятия управленческих решений, рассмотрены особенности информационных систем поддержки принятия решений в области транспортных процессов.

Были изучены научные работы по указанной тематике, таких авторов, как И.С. Васильева, Д.В. Волобуев, А.Н. Привалов, А.В. Тебекин, Л.А. Трофимова, М.А. Шаталов, И.Ю. Ягузинская и др.

Ключевые слова: оптимизация и адаптация, ресурсы, рынок, автоматизация транспортных процессов, информационные системы поддержки.

M.A. Evdokimova¹, R.R. Sagdiev¹, E.A. Chabanov^{1,2}

¹ *Perm branch
of Volga State University of Water Transport,
Perm, 614060;*

² *Perm National Research Polytechnic University,
Perm, 614990
e-mail: ceapb@mail.ru*

INFORMATION VALUE IN MANAGEMENT DECISION MAKING AND TRAFFIC ADMINISTRATION

The modern world characterizes processes rapidity in all spheres of social life as well as the human aim to manage processes more efficiently, optimizing and adapting them to the environmental variability. The most important condition for any business sector development is not only the performance of the quality services parameters and appropriate material resources saving, but also the competent use of time as the most important of all resources.

The requirements are analyzed, the general aspects of information support for management decision making are determined, the features of information systems for decision making in the field of transport processes are considered in this paper.

The studies on the specified subject written by such authors as I.S. Vasilieva, D.V. Volobuev, A.N. Privalov, A.V. Tebekin, L.A. Trofimova, M.A. Shatalov, I.Yu. Yaguzinskaya and others were investigated.

Key words: optimization and adaptation, resources, market, transport processes automation, information support systems.

Существование любой организации связано с производством, координацией и принятием решений. Эффективность деятельности и конкурентоспособность организации во многом зависят от того, какие конкретно решения координируются в производственной среде.

Этот факт требует серьезного отношения к вопросам обеспечения качества разработки управленческих решений, что выявляет результативность управления [4, с. 84].

При выборе одного из альтернативных вариантов управления учитывают немалое число противоречивых и неопределенных факторов. Принято выделять три класса неопределенности:

- неопределенность (1) – неполнота знаний о проблеме, по которой должно быть принято решение;
- неопределенность (2) – невозможность полного учета реакции окружающей среды на принимаемые решения;
- неопределенность (3) – нечеткое понимание своих целей принимающим решение лицом (ЛПР).

В первую очередь, противоречивость возникает по причине спорной оценки ситуаций, неправильной расстановки приоритетов, что, в свою очередь, сильно усложняет принятие решений. Известно, что люди, принимающие решения без дополнительной аналитической поддержки, используют упрощенные, а иногда и спорные пути выбора решения.

Выделяют две основные схемы процесса принятия решений:

- интуитивно-эмпирическую,
- формально-эвристическую [5, с. 73].

Один из важных факторов синтеза эффективных решений является информационное обеспечение управления обеих схем процесса принятия решений (ИОУ). ИОУ – это комплекс информационных ресурсов, средств, технологий и методов, способствующих плодотворному проведению процесса управления.

При синтезе модели проблемной ситуации обычно исследуют структуру процесса принятия решения, элементы которого являются состояниями исходных данных задачи, моделью ситуации принятия решения, ограничениями, внешними факторами объективного/субъективного характера, вариантами решений и их последствиями. Данный комплекс перечисленных элементов образует своеобразную среду (систему) принятия решений, обозначаемая так называемой системой поддержки принятия решений (СППР).

Другими словами, СППР – это некая система, обеспечивающая ЛПР необходимыми для принятия решения данными, знаниями, заключениями и рекомендациями [8, с. 309].

СППР основаны на систематизации методов получения исходных и промежуточных оценок, даваемых ЛПР и структуризации самого процесса синтеза решения. Информационные технологии поддержки принятия координации решений реализуют качественный подход к интеграции между компьютером и человеком. Можно выделить следующие особенности информационных технологий поддержки принятия решений:

- ориентация на решение слабо организованных задач;
- сочетание традиционных методов доступа и обработки компьютерных данных с возможностями математических моделей и методами их решения;
- высокая адаптивность, обеспечивающая возможность приспосабливаться к особенностям имеющегося технического и программного обеспечения [4, с. 86].

Основными функциями СППР являются:

- оказание помощи ЛПР при анализе исходной информации, оценке текущей ситуации и ограничений, накладываемых внешней средой;
- выявление и расстановка приоритетов, учет неопределенности в оценках ЛПР и формирование его предпочтений;
- синтез возможных решений, формирование списка альтернатив;
- анализ возможных последствий принимаемых решений;
- выявление лучшего варианта управленческого решения [1, с.14].

Ориентация на компьютерные информационные технологии позволяет выделить особый класс СППР – человеко-машинных систем, который предназначен для содействия в помощи ЛПР в их профессиональной деятельности по использованию знаний, моделей и данных при подготовке к принятию важных решений.

Активное развитие рынка, рост конкуренции, системность управления бизнес-процессами предъявляют следующие требования к СППР:

- анализ и интеграция источников маркетинговой, производственной и финансовой информации;
- повышение оперативности анализа эффективности бизнес-процессов и аналитика их развития;
- расширение сферы лиц, участвующих в подготовке и принятии управленческих решений [1, с. 15].

На основании анализа сложившейся практики можно выделить следующие области успешно применения СППР:

- финансовая аналитика и прогнозирование;
- осуществление закупок;
- анализ клиентской базы, ее поведение и выявление скрытых законов;
- координирование активами.

Это позволяет успешно решать общие задачи информационной поддержки бизнеса в части обслуживания процессов.

К ним относятся:

- координация стратегических бизнес-задач и ИТ;
- регулирование: проектами, производственными мощностями, изменениями, проблемами, издержками, непредвиденными ситуациями, вспомогательными службами, взаимоотношениями с клиентами и с поставщиками.

Основной функциональный набор СППР составляют:

- финансовое планирование и бюджетирование;
- создание информационной системы стратегического управления на основе ключевых показателей деятельности (Balance Score Cards);
- анализ рыночных тенденций;
- функционально-стоимостный анализ (ABC-Costing);
- функционально-стоимостное управление (Activity Based Management, ABM);
- система постоянных улучшений (Kiezen Costing);
- многомерный анализ данных (OLAP);
- выявление скрытых закономерностей (Data Mining);
- событийное управление бизнесом (Event-driven BI);
- анализ рисков [4, с. 93].

Основанием успешного функционирования производственной среды является принятие решений в тех естественных условиях, в которых функционируют элементы.

Системы поддержки принятия решений, в которых сконцентрированы мощные методы математического моделирования, науки управления, информатики, являются инструментом, призванным оказать помощь руководителям в своей деятельности во все усложняющемся динамичном мире.

Системы поддержки управленческих решений в области транспортных процессов определяются обязательным наличием следующих пяти этапов:

1. Определен так называемый управленец, который обязуется принимать то или иное управленческое решение, для моделирования системы.
2. Осуществление моделирования системы на основе определенных параметров, которые записываются в базу данных, если это возможно.
3. Необходимость проведения определенного анализа сформированной модели (получение статистических данных, анализ экстремальных ситуаций и др.).
4. Обеспечение непрерывного обмена информацией между самой смоделированной системой и потоками информации, т. е. управленец может определять новые параметры моделируемой системы, которая будет изменяться.
5. Лицо, принимающее решение, которое выбирает оптимальное решение на основе данных, полученных в результате моделирования [2, с. 107].

В параметры моделируемой системы входят элементы транспортного потока, дорожной сети и окружающей среды.

Основные задачи в области создания эффективной системы управления транспортной системы:

- создание и развитие информационно-аналитической системы управления реализацией транспортной системы;
- развитие системы контроля и надзора на транспорте;
- развитие системы статистического учета на транспорте;
- взаимная увязка стратегий субъектов России с транспортной системой [3, с. 184].

Образование системы взаимосвязанных мероприятий подразумевает под собой разделение интересов и ответственности между РФ, регионами и муниципалитетами, государством и организациями.

В развитых странах в течение 20 лет информационно-коммуникационные технологии в транспортном комплексе развиваются под общим названием «интеллектуальные транспортные системы» (ИТС).

Интеллектуальные транспортные системы – взаимодействие информационно-коммуникационных технологий применительно к элементам транспортных процессов: человек – транспортные средства – транспортная инфраструктура [3, с. 185].

Другими словами, ИТС – это обеспечение информативности и безопасности, а также нового уровня информационной связи участников транспортной системы.

Как источник информации о существующих транспортных потоках выступают датчики и детекторы на смежные информационные системы и те данные, которые вводит оператор.

Кроме того, при создании ИТС на нее оказывают воздействие такие элементы, как:

- перспективы развития международных транспортных коридоров в соответствии с принятыми в Западной Европе стандартами;
- вопросы оснащения автомагистралей, портов, терминалов и инфраструктуры компонентами ИТС.

Все вышеперечисленные факторы ведут к увеличению стоимости работ, по разработке и внедрению ИТС, однако это может быть компенсировано получением существенными социальными и экономическими выгодами. Организация процесса формирования и внедрения ИТС возможна только с помощью поддержки государства путем разработки национальной концепции и программы развития.

В транспортной отрасли России использование информационно-коммуникационных технологий пока не так велико. Есть определенные попытки использования интеллектуальных транспортных систем, но они носят не системный, а выборочный характер [2, с. 107].

Требования к автоматизации бизнес-процессов транспортного предприятия базируются на ряде задач, решение которых невозможно без системного подхода.

В первую очередь необходимо отметить высокую ресурсоемкость подобных предприятий, в работе которых зачастую задействовано немалое количество сотрудников, необходимость четко соблюдать график перевозок и зависимость от этих финансовых показателей, а также общую сложность управления и контроля над процессом.

Кроме того, транспортный бизнес на сегодняшний день – это в большинстве всегда международный бизнес.

Бизнес транспортных компаний весьма неоднороден, поэтому система информационной поддержки каждой из отраслей имеет свою специфику. Например, в части организации бухгалтерского, складского учета снабжения транспортные компании решают те же задачи, что и любые другие организации. В части систем управления перевозками грузов и пассажиров уже требуется определенный набор технологических знаний в соответствующих сферах знаний.

Основные задачи в области создания эффективной системы управления транспортной системы:

- развитие системы статистического учета на транспорте;
- создание и развитие информационно-аналитической системы управления реализацией транспортной системы;
- взаимная увязка стратегий субъектов России с транспортной системой;
- создание системы мониторинга реализации федеральных целевых программ и стратегий;
- развитие системы контроля и надзора на транспорте.

Литература

1. *Васильева И.С.* Эффективные методы и модели принятия управленческих решений // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2014. – № 3. – С. 13–15.
2. *Волбуев Д.В., Куренбаев А.Н.* Информационные технологии на транспорте // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. – № 6-2 (90). – С. 106–108.
3. *Привалов А.Н., Екатериничев А.Л., Колокольцев В.Ю.* Моделирование информационных процессов в транспортной информационной системе // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 9. – С. 180–188.
4. *Тебекин А.В.* Методы принятия управленческих решений. – М.: Юрайт, 2014. – 572 с.
5. *Трофимова Л.А., Трофимов В.В.* Методы принятия управленческих решений. – М.: Юрайт, 2014. – 336 с.

6. *Шаталов М.А., Мычка С.Ю.* К вопросу о ключевых проблемах информационного обеспечения управления транспортно-логистической системой предприятия // Научное обозрение. Экономические науки. – 2017. – № 2. – С. 140–144.

7. *Ягузинская И.Ю., Бирюков Е.О.* Перспективы внедрения и развития информационных систем в транспортной логистике // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2015. – Т. 35. – С. 151–155.

8. *Яковлев А.С.* Применение информационных технологий в принятии управленческого решения // Молодой ученый. – 2016. – № 18. – С. 309–311.

УДК 004:621.431

В.А. Жуков, О.В. Мельник

*Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова
Санкт-Петербург, 198035
e-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru*

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Представлены возможности применения информационных технологий и автоматизированного сбора информации в процессе испытаний судовых дизелей. Использование предлагаемых систем позволяет исключить субъективные ошибки при проведении измерений. Система сбора информации может быть использована для измерения параметров систем топливоподачи, смазки и охлаждения, при исследовании составляющих теплового баланса двигателей внутреннего сгорания, состояния моторного масла, интенсивности изнашивания основных деталей. Система сбора и обработки информации при испытаниях дизелей может использоваться в учебных и научных работах.

Ключевые слова: испытания дизелей, ошибки измерений, сбор информации, параметры систем, датчики, тепловой баланс, оценка изнашивания.

V.A. Zhukov, O.V. Melnik

*State University of Marine and Inland Water Transport named after Admiral S.O. Makarov
St. Petersburg, 198035
e-mail: kaf_sdvs@gumrf.ru*

INFORMATION MEASURING SYSTEMS FOR MARINE DIESEL ENGINES TESTING

The possibilities of information technologies and automated data collection application in the process of marine diesel engines testing are presented. The use of the proposed systems allows to avoid human errors during measurements. The data collection system can be used to measure the parameters of fuel supply, lubrication and cooling systems in studying the thermal balance components of internal combustion engines, the engine oil state, the main parts wear rate. The data collecting and processing system for diesel testing can be used in instructional and scientific works.

Key words: diesel engines testing, measurement errors, data collection, systems parameters, sensors, heat balance evaluation of wear.

Важнейшей задачей, стоящей перед отечественными судостроительными предприятиями и судоходными компаниями, является оснащение строящихся судов экономичными и надежными дизельными двигателями и оснащение такими двигателями судов, находящихся в эксплуатации, при их модернизации. В современных экономических условиях необходимо стремиться комплектовать судовые энергетические установки дизельными двигателями, выпускаемыми на российских предприятиях и не уступающими по технико-экономическим показателям зарубежным аналогам. Выбору дизелей, отвечающих предъявляемым требованиям, и определению перспективных российских дизелестроительных предприятий посвящена работа [1]. В процессе создания, производства и эксплуатации судовые дизели подвергаются различным видам испытаний (доводочным, приемочным, контрольным, стендовым, швартовным, ходовым, теплотехническому контролю и др.). По результатам испытаний и обработки собранной информации осуществляется оценка экономических показателей дизелей: определяются механические и тепловые потери, удельный эффективный расход топлива, КПД, а также ресурсных показателей: интенсивность изнашивания основных деталей, назначенный и остаточный ресурс и др. [2].

Обязательным условием получения достоверной информации в процессе испытаний является высокая точность производимых измерений. Как правило, при испытаниях дизелей основными измеряемыми параметрами являются частота вращения коленчатого вала, крутящий момент, массовый расход топлива, температуры, давления и расходы рабочих сред (воздуха, моторного масла, охлаждающей жидкости и др.). Порядок проведения испытаний и методика обработки и представления полученных результатов регламентируются нормативными документами,

например [3], в которых также указываются допустимые погрешности при проведении измерений. В большинстве случаев все измерения при испытаниях двигателей, особенно при проведении типовых испытаний по установленным стандартам, производят на установившихся режимах работы, когда показания приборов, определяющих скоростной режим, тепловое состояние, уровни давлений или разряжений в системах, а также нагрузку на двигатель остаются неизменными во времени. Однако даже при этих условиях возможно появление ошибок и погрешностей при проведении как прямых, так и косвенных измерений. Все погрешности разделяют на два основных вида: объективные и субъективные. Характер и причины возникновения этих погрешностей, а также возможные способы их предотвращения подробно рассмотрены в работе [4].

Особое внимание необходимо уделить проведению исследовательских и доводочных испытаний вновь создаваемых и модернизируемых двигателей, так как именно результаты этих испытаний являются основой для оценки совершенства двигателя, его конкурентоспособности и перспектив использования на морской и речной технике. Субъективные ошибки, возникающие в результате физиологических особенностей наблюдателя, его квалификации и ответственности, могут привести к искажению получаемых результатов. Для исключения такого искажения предлагается использовать в процессе испытаний двигателей контрольно-измерительные системы, предназначенные для сбора и обработки информации и поэтому называемые информационно-измерительными.

Информационно-измерительные системы представляют собой совокупность измерительных приборов, преобразователей, каналов передачи информации, вычислительных средств для обработки информации и хранения полученных результатов. Если в состав системы входят средств, обеспечивающие проведение замеров и обработку их результатов без участия человека, систему называют автоматической. В зависимости от числа измерительных каналов при испытаниях двигателей могут использоваться одно-, двух- и многоканальные системы. Информационно-измерительные системы служат для получения, преобразования и обработки измерительной информации с целью ее предоставления для функций контроля, диагностирования и идентификации [5].

В работах [6, 7] представлена информационно-измерительная система, обеспечивающая не только сбор и обработку информации при проведении стендовых испытаний двигателей, но и проведение испытаний по заданной программе. Принципиальная схема информационно-измерительной системы приведена на рис. 1. Центральным блоком системы является компьютер 1. Для передачи выходных и входных сигналов предлагается использовать протокол I2C или протокол MicroLAN, которые предполагают использование четырехпроводной линии (питание, две линии данных, земля) 2. Благодаря использованию цифро-аналоговых преобразователей 6 и исполнительных механизмов 7, в качестве которых могут выступать органы топливоподачи и нагрузочные элементы испытательных стендов, обеспечивается возможность реализации различных алгоритмов испытаний. Аналоговые датчики 5 и аналого-цифровые преобразователи 4 обеспечивают возможность измерения требуемых параметров и передачи информации для последующей обработки. Каждому датчику присваивается уникальный идентификационный номер, что позволяет подключать параллельно до 112–256 датчиков при длине линии 10 м и более или организовать несколько независимых параллельных линий измерений.

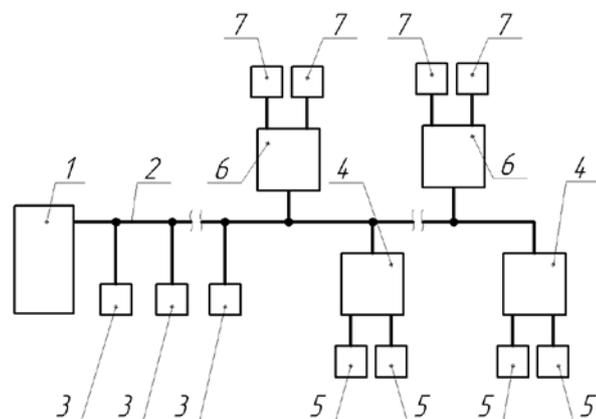


Рис. 1. Схема информационно-измерительной системы для испытаний дизелей:
1 – компьютер; 2 – линия I2C; 3 – температурный датчик; 4 – аналого-цифровой преобразователь;
5 – аналоговый датчик; 6 – цифро-аналоговый преобразователь; 7 – исполнительное устройство (механизм)

Наиболее важная информация при испытаниях двигателей поступает от датчиков массового расхода топлива, частоты вращения коленчатого вала, крутящего момента, температур и давлений в системе смазки и контуре охлаждения, температуры и давления воздуха, подаваемого в цилиндры, и температуры и давления отработавших газов. Информация от датчиков должна поступать на центральный блок в режиме реального времени и быть синхронизирована, поэтому в состав системы обязательно должны включаться часы реального времени. Выбор типа и марки датчиков должен осуществляться с учетом их технического уровня, этому вопросу посвящена работа [8], содержащая рекомендации по рациональному выбору датчиков для измерения основных параметров дизелей.

Результаты измерений с датчиков температур и давлений в системах топливоподачи, смазки, охлаждения, впуска и выпуска целесообразно снимать с частотой один раз в секунду, а с датчиков частоты вращения, крутящего момента и массового расхода топлива – один раз в минуту. Полученные данные передаются в блок сбора данных на протяжении всего испытательного цикла. Так как температура рабочих сред и поверхностей деталей систем охлаждения, смазки и топливной системы меняются сравнительно медленно для их фиксации достаточно производить замеры встроенными датчиками в реальном времени. Температуры деталей поршневой группы и подшипников коленчатого вала и турбокомпрессора могут изменяться существенно интенсивнее (особенно на переходных режимах), в связи с этим для их измерения целесообразно использовать аналоговые датчики.

Предлагаемая схема подключения датчиков информационно-измерительной системы для испытания дизелей представлена на рис. 2.

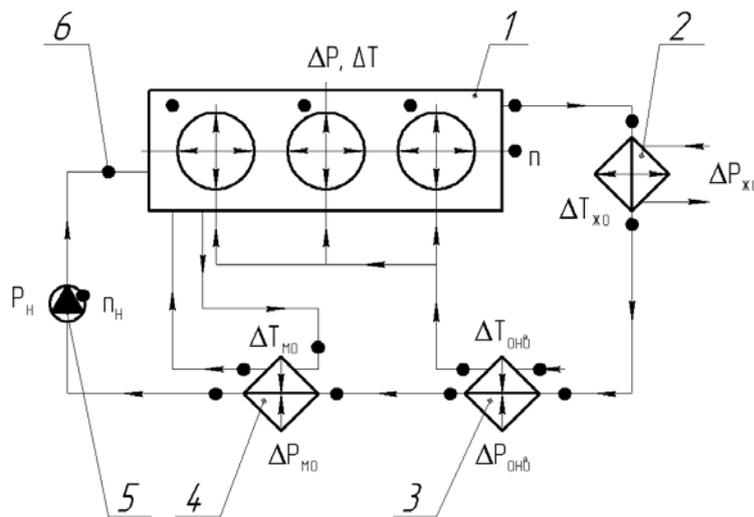


Рис. 2. Схема расположения датчиков информационно-измерительной системы:

- 1 – поршневая часть дизеля; 2 – водо-водяной охладитель; 3 – охладитель наддувочного воздуха;
4 – охладитель масла; 5 – циркуляционный насос системы охлаждения; 6 – места установки датчиков

Указанное размещение датчиков позволяет получать в режиме реального времени информацию о параметрах работы двигателя (частоте вращения коленчатого вала, крутящем моменте), параметрах рабочих сред (воздуха, поступающего в цилиндры, отработавших газов, охлаждающей жидкости, моторного масла). Измеренные параметры работы двигателя позволяют определить его мощность, а при измерении массового расхода топлива и экономичность. Значения температур, давлений и расходов рабочих сред позволяют точно определить составляющие теплового баланса двигателя. Обработка полученных данных позволяет определить эффективные показатели работы двигателя, оценить качество настроек и регулировок основных систем двигателя, исследовать влияние различных факторов на экономические и экологические показатели двигателя.

С целью получения более точной информации следует использовать вместо одного центрального блока несколько автономных блоков сбора информации с подключенными к ним датчиками измеряемых параметров. Использование автономных блоков обеспечивает частоту опроса датчиков до 5 000 раз в секунду. Такая частота позволяет получать параметры быстропеременных процессов, протекающих в камере сгорания дизеля.

В качестве развития информационно-измерительных систем для испытаний судовых дизелей предлагается установка дополнительных датчиков, позволяющих определять физические и химические свойства моторного масла и охлаждающей жидкости непосредственно в двигателе в процессе испытаний. Датчики могут располагаться в трубопроводах систем смазки и охлаждения, в масляных баках (поддонах), расширительных баках систем охлаждения. Результаты измерений в режиме реального времени таких характеристик жидкостей, как вязкость, щелочность, водородный показатель, солесодержание, количество механических примесей и других, после обработки в центральном блоке позволяют оценить качество эксплуатационных материалов, интенсивность изнашивания смазываемых и охлаждаемых поверхностей, спрогнозировать срок службы эксплуатационных материалов [9]. Сбор и обработку такой информации особенно важно осуществлять при проведении длительных эксплуатационных испытаний судовых дизелей и их теплотехнического контроля.

Совершенствование информационно-измерительных систем для испытаний судовых дизелей и расширение использования таких систем обеспечивает:

- снижение вероятности возникновения субъективных ошибок при выполнении измерений и как следствие повышение достоверности результатов испытаний;
- получение достаточного объема информации для определения экономических и ресурсных показателей судовых дизелей
- возможность реализации сложных алгоритмов изменения нагрузки и управления двигателями в процессе испытаний.

Литература

1. *Безюков О.К., Жуков В.А.* Состояние и перспективы судового двигателестроения в России // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 40–53.
2. *Райков И.Я.* Испытания двигателей внутреннего сгорания. – М.: Высш. школа, 1975. – 320 с.
3. ГОСТ Р 52517-2005 (ИСО 3046-1:2002) Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 1. Стандартные исходные условия, объявление мощности, расхода топлива и смазочного масла. Методы испытаний.
4. *Шенк Х.* Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 381 с.
5. *Блинов О.М., Бельский А.М., Бердышев В.Ф.* Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Металлургия, 1993. – 288 с.
6. *Жуков В.А., Николенко Е.Н.* Автоматизация теплосбалансных испытаний двигателей внутреннего сгорания // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – № 2. – С. 50–52.
7. *Жуков В.А., Николенко Е.Н.* Система автоматизированного сбора информации при испытаниях двигателей внутреннего сгорания // Вестник РГАТА имени П.А. Соловьева. – Рыбинск, 2011. – № 1 (19). – С. 172–176
8. *Денисова А.А.* Совершенствование комплектования судовых энергетических установок контрольно-измерительными приборами: Дис ... канд. техн. наук. – СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2017. – 191 с.
9. *Жуков В.А., Мельник О.В.* Оценка и обеспечение качества эксплуатационных материалов транспортных ДВС // Сб. тр. VI Всероссийской научно-практической конференции «Ремонт. Восстановление. Реновация»: Материалы. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. – С. 105–111.

УДК [004:656.6](571.1/.5)

А.В. Зачёсов, И.С. Дерябина

Сибирский государственный университет водного транспорта,

Новосибирск, 630099

e-mail: urf01@mail.ru

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОСНОВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА СИБИРИ

Рассмотрены задачи, приведены характеристика информации и рекомендуемые методы их решения.

Ключевые слова: задачи, информация, методы решения.

A.V. Zachesov, I.S. Deriabina

Siberian State University of Water Transport,

Novosibirsk, 630099,

e-mail: urf01@mail.ru

INFORMATION TECHNOLOGIES IN PRIMARY ACTIVITY OF SIBERIAN RIVER TRANSPORT

The problems are considered, the characteristic of information and the recommended methods of their solution are given.

Key words: tasks, information, solution methods.

Пароходства в своей основной деятельности в течение навигации решают порядка 350 различных эксплуатационно-экономических задач. Ретроспективный анализ работы пароходства показывает, что круг решаемых задач достаточно многообразен, однако он характеризуется относительной стабильностью в течение года по количеству решаемых задач и по их содержанию. Все эти задачи можно сгруппировать в три основных направления [1]:

- плановые задачи;
- учетные;
- задачи контроля и анализа.

Доля плановых задач в общем количестве составляет 45–48%, учетных 36–37%, задачи контроля и анализа – 19–20%. При этом плановые задачи занимают доминирующее положение, и порядка 75–80% этих задач относятся к классу многовариантных и, следовательно, оптимизационных.

Для постановки и решения всех задач требуется подготовить обширную информацию, характеризующую весь транспортный процесс. Состав этой информации по каждому пароходству однообразен по форме, но различен по содержанию и объему:

- Корреспонденция грузопотоков, составляющая грузовую базу пароходства, включает 150–300 основных направлений, каждое из которых характеризуется пунктом отправления и назначения, родом перевозимого груза, количеством перевозок, грузооборотом;
- Номенклатура родов груза насчитывает до 20 укрупненных наименований, характеризуется требованиями по способам перевозок (открытого и закрытого хранения, удельным погрузочным объемом, химическими свойствами и т. п.);
- Характеристика водных путей различается множеством габаритов судового хода, скоростью течения по участкам, различной пропускной способностью пути;
- Множество судов различных типов, которое по каждому пароходству составляет более 300 единиц флота (самоходный и несамоходный сухогрузный, наливной, тяга с груженными и порожними судами, с плотами). Флот работает по разным формам движения, с разной загрузкой, периодам эксплуатации.

Переработать такой объем исходных данных на основе интеграции их составляющих невозможно без внедрения информационных технологий с использованием компьютерной техники. Такой подход обеспечивает оптимальные результаты.

В настоящее время плановые задачи в основном решаются с применением метода вариантов, который обладает рядом недостатков. Основные из них следующие:

1. Количество рассматриваемых вариантов ограничено по субъективным причинам.
2. Каждый из вариантов, включаемых в расчет, готовится расчетчиком и, следовательно, зависит от его квалификации.
3. Нет уверенности в том, что оптимальный вариант использования ресурсов находится среди намеченных для расчетов, а выбранный вариант является оптимальным.

Нейтрализовать перечисленные недостатки возможно, если использовать для решения эксплуатационно-экономических задач идеи теории исследования операций, которые в последние годы подтвердили эффективность в решении управленческих задач.

Разработанные методы решения на этой основе позволяют находить оптимальные варианты использования ресурсов путем целенаправленного поиска оптимального плана без перебора всех возможных вариантов [2].

Применение теории исследования операций для решения эксплуатационно-экономических задач оказывается полезным, если выполняются следующие условия:

1. Экономико-математическая модель адекватно описывает реальный производственный процесс.
2. Исходная информация задачи правильно и с достаточной степенью точности характеризует все составляющие параметров задачи, включенных в экономико-математическую модель.
3. Метод, выбранный для решения поставленной задачи, обеспечивает надежное и достоверное получение результата.

В случае невыполнения в полном объеме или частично какого-либо условия результат решаемой задачи оказывается неудовлетворительным, дискредитируется система получения оптимального решения на базе использования методов математического программирования, что нередко случается в производственной практике из-за неподготовленности операторов к работе с технологией подготовки задачи к решению с помощью использования теории исследования операций.

Чтобы избежать негативных последствий при подготовке к решению многовариантных задач, решаемых в управлении судоходной компании, предлагается все эксплуатационно-экономические задачи разделить на три основные группы: детерминированные, вероятностные и динамические.

В первую группу задач включаются те, которые имеют строго определенные параметры задачи, работая с которыми в определенной последовательности, можно заранее предопределить исход этой последовательности, уверенно получить объективный результат.

Во вторую группу включаются задачи, которые могут иметь в исходной информации некоторые параметры, значения которых принимаются с определенной вероятностью. При этом неопределенность может возникнуть в зависимости от действия ряда случайных факторов, иногда предсказуемых, а иногда и неизвестных.

В третью группу входят задачи, в которых один или несколько параметров, описывающих содержание задачи, изменяются во времени.

С переходом речного транспорта на рыночные отношения транспортный процесс однозначно признается непостоянным в пространстве и во времени. В этом случае большая часть плановых задач судоходной компании оказывается во второй и третьей группе задач.

В случае неопределенности и учета возможного риска рекомендуется рассматривать оптимизационные задачи через вероятностные экономико-математические модели. При этом величина или степень риска оценивается по двум показателям: среднее ожидаемое значение и степень отклонения ожидаемого значения от средней величины. Оценка степени отклонения ожидаемого значения от средней величины осуществляется исходя из показателей дисперсии и среднего квадратичного отклонения.

Показатель дисперсии рассчитывается следующим образом:

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

где x – ожидаемое значение для каждого случая наблюдения;

\bar{x} – среднее ожидаемое значение;

n – число случаев наблюдения.

Среднее квадратичное отклонение рассчитывается по выражению:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{D}.$$

Литература

1. *Ширяев Е.В.* Автоматизированная система управления на водном транспорте: Учебник. – М.: Альтаир, 2006. – 353 с.
2. *Пьяных С.М.* Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного транспорта: Учебник. – М.: Транспорт, 1988. – 253 с.

УДК 502.5:629.5.03

В.В. Медведев, С.Н. Киселёв

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, 190121
e-mail: v_v_medvedev@mail.ru*

**РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ
ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ EEDI**

Объектом пристального внимания Международной морской организации (ИМО) являются вопросы снижения вредного воздействия судоходства на окружающую среду. Для уменьшения выбросов парниковых газов ИМО ввело требования к уровню конструктивного коэффициента энергетической эффективности (ККЭЭ – EEDI) новых судов. Предложенная в работе программа, реализующая вычисления EEDI, позволяет обсчитывать варианты практической реализации различных способов повышения энергетической эффективности судов. Это может служить обоснованием выбора наилучшего варианта. Графический интерфейс (GUI) и код программы написаны с помощью языка программирования Python версии 3.6 с помощью интегрированной среды разработки (IDLE) PyCharm 2017.2.4. Результатом расчета программы является вывод достигнутого коэффициента EEDI, а также графика с положением вычисленного показателя относительно базовой линии. Программа предназначена для использования в учебном процессе и научно-исследовательской работе.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов, энергоэффективность судна, защита морской среды.

V.V. Medvedev, S.N. Kiselev

*Saint-Petersburg State Marine Technical University,
St. Petersburg, 190121
e-mail: v_v_medvedev@mail.ru*

**DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE PROGRAM FOR
EEDI ENERGY EFFICIENCY DESIGN COEFFICIENT CALCULATING**

The focus of the International Maritime Organization (IMO) is on reducing the harmful impact of shipping on the environment. To reduce greenhouse gas emissions IMO imposed requirements for the level of constructive coefficient of the energy efficiency (EEDI) of new vessels. The proposed program implementing EEDI calculations allows to calculate variants for practical use of various ways of the ship energy efficiency improvement. This can serve as a justification for choosing the best option. The graphical interface (GUI) and the program code are written using the Python programming language version 3.6 with the PyCharm 2017.2.4 integrated development environment (IDLE). The result of the program calculation is the deduction of the achieved EEDI coefficient, as well as the graph with the position of the calculated indicator relative to the baseline. The program is intended for use in the teaching process and research work.

Key words: greenhouse gas emissions, ship energy efficiency, marine environment protection.

Введение

Международная морская организация (International Maritime Organization – ИМО, далее ИМО) с прошлого века проводит политику, направленную на сокращение выбросов диоксида углерода (CO₂) с судов [1]. Важным инструментом этой политики является конструктивный коэффициент энергетической эффективности (ККЭЭ – EEDI). Он предназначен для использования как при постройке новых судов, так и при их эксплуатации [2]. После вступления в силу МЕРС.212(63) Руководство по методу расчета EEDI (Energy Efficiency Design Index), а затем МЕРС.245(66) поставлена цель – обеспечить требуемый уровень EEDI, который определяется установленными нормами (базовыми линиями). Предусмотрено несколько фаз уменьшения этого уровня. После прошедшей нулевой фазы следующая действует до 31 декабря 2019 г., далее – последуют еще две. Уже изначально был зафиксирован достаточно жесткий требуемый уровень. В последней фазе, после 1 января 2025 г., величина снижения должна составить до 30%. Данная

цель вполне достижима и может быть реализована различными способами [3]. Известны примеры специальных калькуляторов для вычисления EEDI, например, популярный некоторое время BIMCO EEDI Calculator (на сайте BIMCO на момент публикации он уже не действует). Однако их неудобно использовать в рамках как учебного процесса, так и в научно-исследовательской работе, так как отсутствие доступа к коду программ не позволяет контролировать процесс расчета, особенно для оригинальных способов повышения энергоэффективности. Целью данной работы является выяснение актуальных принципов расчета EEDI с последующим созданием и отладкой программы-калькулятора для вычисления вышеупомянутого коэффициента.

Анализ формулы конструктивного коэффициента энергетической эффективности (ККЭЭ/EEDI)

В качестве исходных материалов для описания формулы были использованы источники [1], [4–9]. Анализ указанных источников показал, что формула для расчета EEDI находится в процессе перманентного совершенствования. Последнее касается состава входящих в формулу величин, толкования этих величин и алгоритмов их определения. Можно констатировать, что этот процесс еще не завершен, т. к. остаются «белые» пятна, касающиеся реализации сложных способов повышения энергетической эффективности судов, например при использовании гибридных установок, дизель-электрических установок и установок с турбинным двигателем. Поэтому разработка собственной программы для расчета EEDI с открытым для совершенствования кодом является актуальной.

В настоящее время формулу для определения EEDI можно записать в следующем обобщающем виде:

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FMEi} \cdot SFC_{MEi}\right) + P_{AE} \cdot C_{FAEi} \cdot SFC_{AE}^*}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} + \frac{\prod_{j=1}^M f_j \left(\left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(0)} - \sum_{i=1}^{neff} P_{AEeff}\right) \cdot C_{FAEi} \cdot SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff} \cdot P_{eff} \cdot C_{eff} \cdot SFC_{MEi}\right)\right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} \quad (1)$$

с размерностью (г·СО₂)/(на тонну перевезенного груза на 1 милю).

Входящие в уравнение (1) данные объединяются в четыре члена в числителе и один в знаменателе: выбросы от главного двигателя; выбросы от вспомогательного двигателя; выбросы от работы валогенератора/электромотора (обратимого валогенератора РТО/РТИ); технологии эффективности и работа по транспортировке грузов, соответственно. Данная формула предусматривает учет снижения мощности как основного, так и вспомогательного двигателей за счет применения индивидуальных технологий для повышения энергетической (механической) эффективности. Предусмотрен учет связи между расходом топлива в двигателе (г) и выбросами СО₂ (г), определенными по содержанию углерода С в конкретном топливе. С помощью поправочных коэффициентов, входящих в формулу (1), производится учет специфической конструкции элементов судна конкретного типа, доступность инновационных технологий, учитывается снижение скорости при определенном неблагоприятном состоянии моря в зависимости от высоты и частоты волны, а также от скорости ветра, ледовый класс судна. Для определения значений этих коэффициентов рекомендованы соответствующие зависимости, представленные обыкновенно в табличной форме.

Требуемый (нормативный) EEDI определяется произведением значения величины базовой линии для конкретного типа судна на множитель «(1-X/100)», в котором присутствует уменьшающий фактор X, зависящий от типа судна, его размеров и четырех временных фаз применения этого фактора. Значение базовой линии является степенной функцией от параметра CAPACITY судна, который характеризует массовые характеристики судна (параметр принимает значение дедвейта, либо валового регистрового тоннажа в зависимости от назначения судна [6]), а входящие в нее коэффициенты «а» и «с» зависят от типа судна.

Выполнение расчета по формуле (1) требует тщательности в подготовке исходных данных и внимательного отношения к выбору соответствующих условиям расчета вспомогательных зависимостей и коэффициентов. В этих условиях компьютеризация играет важную роль в повышении качества производимых расчетов.

Программа вычисления коэффициента EEDI

Задача разработки программы для вычисления конструктивного коэффициента энергетической эффективности EEDI решалась последовательно, от простейших расчетов к более полным. Сначала была создана программа-калькулятор для судов, имеющих традиционную установку с общим типом топлива как для основных, так и для вспомогательных двигателей (рис. 1), затем – для с разными типами топлива для основных и для вспомогательных двигателей (рис. 2). Последний вариант (рис. 3) является наиболее полной реализацией действующих на текущий момент нормативных правил и рекомендаций для расчета EEDI, учитывающей тип и состав энергетической установки и технологии эффективности при их наличии. Одновременное использование всех трех калькуляторов удобно в учебном процессе, т. к. позволяет реализовать принцип изучения от простого к более сложному. Иногда использование более простого калькулятора удобно и для научно-исследовательских расчетов.

Рис. 1. Интерфейс программы-калькулятора для судов, имеющих традиционную установку с общим типом топлива как для основных, так и для вспомогательных двигателей

Рис. 2. Интерфейс программы-калькулятора для судов, имеющих традиционную установку с общим типом топлива как для основных, так и для вспомогательных двигателей

Графический интерфейс (GUI) и код программы написаны с помощью языка программирования Python версии 3.6 с помощью интегрированной среды разработки (IDLE) PyCharm 2017.2.4.

Результатом расчета программы является вывод достигнутого коэффициента EEDI, а также графика с положением вычисленного показателя относительно базовой линии.

Графический интерфейс разработан с помощью библиотеки tkinter.

Рис. 3. Интерфейс универсальной программы-калькулятора

Для демонстрации работоспособности программы с ее помощью был выполнен расчет, результаты которого можно видеть на рис. 4. Полученный график можно сохранить, активировав пиктограмму дискеты. Стоит заметить, что в программу вносится полная мощность главных двигателей до снижения ее до 75%, а значение SFC_{MEi} принимается для режима 75% от полной мощности главного двигателя. После заполнения всех полей и активации кнопки «Вычислить EEDI» программа выводит в соответствующие поля значение полученного коэффициента, рекомендацию и строит в отдельном окне график базовой линии.

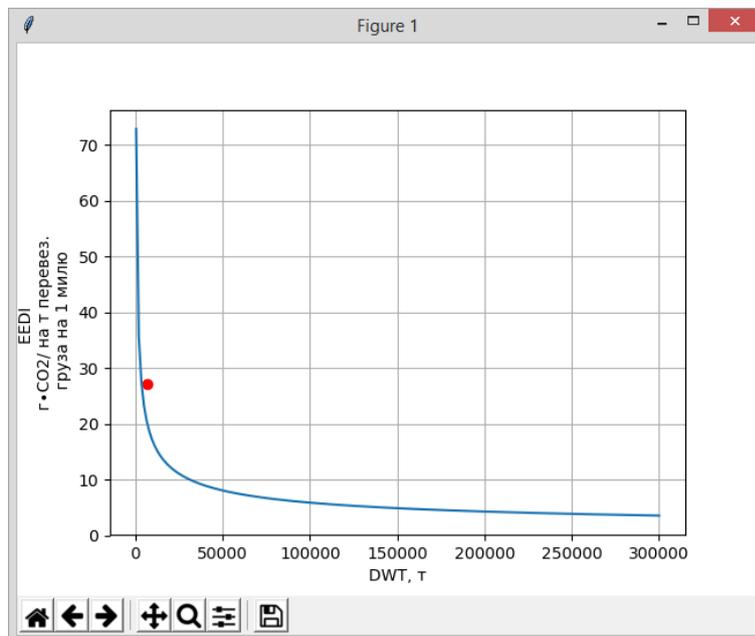


Рис. 4. График с вычисленным коэффициентом EEDI и базовой линией

Преимущества программы:

- Быстрый расчет коэффициента EEDI при наличии всех исходных данных;
- Простой и понятный интерфейс;
- Возможность сохранять полученный график в доступных форматах.

В дальнейшем планируется внесение следующих изменений:

- Создание на основе программы исполняемого exe-файла, не требующего установки специальных средств разработки и языка python.
- Добавление возможности учета ледового подкрепления, специфических особенностей корпуса судна и связанных с ним технологий эффективности.
- Ввиду большого объема документации, которая до настоящего времени не была переведена с английского языка, добавление более полной русскоязычной справочной информации со ссылками на источники, облегчающей расчет.

Заключение

В статье описаны актуальные основные положения по расчету достигнутого коэффициента EEDI. На основании формулы для расчета коэффициента EEDI (1) была создана программкалькулятор. Применение программы позволит сократить время при оценочном расчете энергетической установки судна и получить наглядный график, показывающий положение достигнутого коэффициента EEDI по отношению к базовой линии, а также легко варьировать параметры для поиска оптимального результата.

Литература

1. *Иванченко А.А., Петров А.П., Живлюк Г.Е.* Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2015. – № 3(31). – С. 103–112.
2. *Мясников Ю.Н., Никитин А.М.* Характеристики пропульсивного комплекса в проблеме обеспечения энергоэффективной и экологически безопасной эксплуатации морского судна // Судостроение. – 2017. – № 5. – С. 33–40.
3. *Медведев В.В., Гаврилов В.В., Киселев С.Н.* Обзор и анализ возможностей различных способов повышения энергетической эффективности судов // Морские интеллектуальные технологии. – СПб., 2018. – № 2(40). – Т. 1. – С. 94–103.
4. MEPC.1/ Circ.815, 2013 Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI. – 20 p. – URL: www.imo.org
5. 2012 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships (Annex 8, Resolution MEPC.212(63), Adopted on 14 March 2012). – 2014. – 20 p. – URL: www.imo.org
6. 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships (Annex 5, Resolution MEPC.245(66), Adopted on 4 April 2014). – 2014. – 30 p. – URL: www.imo.org
7. Marpol annex VI international energy 16715 Efficiency (IEE) certificate implementation CG-CVC-1 Guidance. – 2013. – 57 p. – URL: <http://www.standard-club.com>
8. MARSIG Ship Energy Efficiency Plan: SEEMP. – 2012. – 38 p. – URL: <http://www.marsig.com>
9. Analysis of the effect of the new EEDI requirements on Dutch build and flagged ships. – 2011. – 46 p. – URL: <https://www.schonescheepvaart.nl>

УДК 005.95/96:656.6

М.В. Облаухова¹, А.Н. Полетайкин²

¹ *Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Новосибирск, 630102*

e-mail: oblauhova@ngs.ru;

² *Кубанский государственный университет,
Краснодар, 350040*

e-mail: alex.poletaykin@gmail.com

К ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ОТРАСЛИ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Рассматривается задача управления развитием трудовых ресурсов в отрасли водного транспорта. Основным критерием эффективности деятельности персонала принято считать степень его участия в достижении целей отрасли. Для этого разрабатываются программы мотивации, которые разделяются на основные цели и фокусные или ключевые показатели эффективности. Для того чтобы понять, по какой причине та или иная трудовая деятельность является неэффективной, были выделены значимые компетенции и мероприятия по развитию трудовых ресурсов, охарактеризованы методы их разработки и оценивания. Анализ выявленных компетенций и мероприятий по развитию трудовых ресурсов на примере отрасли водного транспорта позволил идентифицировать и охарактеризовать основные проблемы управления развитием трудовых ресурсов в отрасли.

Ключевые слова: отрасль водного транспорта, компетенции, развитие трудовых ресурсов, показатели эффективности, развивающие мероприятия, проблемы управления развитием.

M.V. Oblauhova¹, A.N. Poletaykin²

¹ *Siberian State University of Telecommunications and Informatics,
Novosibirsk, 630102*

e-mail: oblauhova@ngs.ru;

² *Kuban State University,
Krasnodar, 350040*

e-mail: alex.poletaykin@gmail.com

HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT MANAGEMENT IN WATER TRANSPORT INDUSTRY

The problem of human resources development management in water transport industry is considered. The main criterion of staff efficiency is considered to be the degree of its participation in achieving the goals of the industry. For this purpose, motivation programs are developed, which are divided into main goals and focus or key efficiency indexes. In order to understand why this or that labor activity is ineffective, significant competencies and measures for the development of labor resources were allocated, methods of their development and evaluation were characterized. The analysis of the identified competencies and measures for the development of labor resources on the example of the water transport industry allowed to identify and characterize the main problems of human resources development management in industry.

Key words: water transport area, staff competencies, human resources development, efficiency indexes, developing activities, development management problems.

В настоящее время рынок труда в России переживает множество трудностей, начало которым в разное время положили экономические кризисы. В статье [1] убедительно доказано существенное несоответствие между компетенциями, формируемыми у студентов вузов, и требованиями современного производства, являющееся не только результатом консервативности и слабой восприимчивости образовательной системы или отдельных учебных заведений, но и следствием серьезных деформаций рынка труда в том виде, в каком он сложился и существует сегодня в России. Поэтому в существенной модернизации нуждается сегодня не только вузовская подготовка, но и рынок ТР, прежде всего с точки зрения включения кон-

курентных механизмов трудоустройства и карьерного продвижения работников. Необходимы эффективные стратегии, связанные с развитием человеческого капитала, активными действиями на рынке труда, которые позволили бы заложить социальную базу для дальнейшего устойчивого развития страны.

Проблемы управления развитием ТР в отрасли пока не нашли достаточного отражения в научной и учебной литературе. Основная часть исследований в области управления трудовыми ресурсами предприятия посвящена вопросам отбора сотрудников, их распределения по рабочим местам, мотивации и стимулирования. Ряд работ (Н. Казначеевой, Т. Романовой, А. Барбара, С. Айвазяна, М. Афанасьева, М. Манасян) содержат подходы к оцениванию эффективности использования персонала предприятия, в том числе в привязке к осуществлению бизнес-процессов организации в целом, а также с использованием компетентностного подхода. Вместе с тем в большинстве работ, посвященных оцениванию трудовых ресурсов, как правило, не ставится задача разработки мероприятий, способствующих их развитию, что делает актуальными исследования в данном направлении.

В силу того, что уровень квалификации ТР, ответственных за некоторую область деятельности, является одним из наиболее существенных факторов, определяющих эффективность этой деятельности, необходим инструмент управления развитием ТР за счет принятия управленческих решений по поводу реализации необходимых мероприятий. Выявление этих мероприятий, их причинно-следственной связи с эффективностью трудовой деятельности и выработка технологии оценивания эффективности их использования для развития ТР – комплекс задач исследования, проводимого в данной статье, имеющей целью дать системное представление о проблеме управления развитием ТР в ракурсе оценивания эффективности их использования и профессионального совершенствования.

Рассмотрим решение данной задачи на примере отрасли водного транспорта (ОВТ). Выбор данной отрасли продиктован тем обстоятельством, что она является значимой для общества и государства, и предполагает корпоративную распределенную структуру рынка труда с организационной занятостью ТР, что делает ее привлекательной для подобного рода исследований. Авторы исследований, посвященных обеспеченности ОВТ трудовыми ресурсами, в числе которых можно выделить таких ученых, как И.И. Костылев, В.А. Петухов, И.И. Скобелева, и др., подчеркивают исключительную важность для водной индустрии задачи создания качественного кадрового потенциала для экипажей судов и береговой инфраструктуры, отвечающего современному уровню развития транспортного флота и требованиям безопасной эксплуатации судов. За последние десятилетия в ОВТ произошли коренные технические изменения, касающиеся автоматизации процессов управления в отрасли, централизация процедур контроля за правильным функционированием технических средств судна. Положительный эффект этой эволюции несомненен, но явно проявляются и негативные моменты, усиливающие «человеческий фактор» [2].

В связи с этим рассмотрим проблемы управления развитием ТР ОВТ на примере группы сотрудников машинной команды, ответственных за контроль текущего технического состояния оборудования судна. Выделим ключевые критерии эффективности для такого вида деятельности. Согласно общепринятой практике, основным критерием эффективности деятельности персонала является степень его участия в достижении целей, возложенных на коллектив. Такой критерий позволяет напрямую оценить эффективность работы сотрудника. Однако в том случае, если эффективность работы оказывается недостаточно высокой, возникает вопрос о том, какие факторы делают результаты работника неудовлетворительными. Для того чтобы выявить основные причины, влияющие на эффективность деятельности ТР, можно использовать различные подходы.

Первый подход заключается в исследовании взаимосвязи между различными параметрами, формально характеризующими сотрудников, и результатами их деятельности. В качестве таких параметров могут быть использованы такие характеристики, как возраст, уровень и профессиональный аспект образования, опыт работы в данном направлении деятельности и другие. Однако изучение влияния этих характеристик малоинформативно с точки зрения поставленной задачи, так как ни на возраст работника, ни на уровень его базового образования, ни на его стаж мероприятия по развитию ТР повлиять не могут.

Второй подход представляется более перспективным и связан с компетентностным подходом к оцениванию качества ТР. В некоторых работах (например, [3]) предлагаются методики такого оценивания. Реализация такого подхода требует дополнительных исследований, связан-

ных с получением экспертных мнений, позволяющих выявить ключевые компетенции, влияющие на эффективность работы определенной группы ТР.

Наиболее значимые компетенции относительно процедур контроля технического состояния технологического комплекса судна (ТКС) для человека, непосредственно вовлеченного в этот процесс – судового инженера-механика:

- анализ и диагностика технического состояния ТКС, определение соответствия эксплуатационных параметров заданным нормативным техническим требованиям;
- анализ и диагностика системы управления ТКС, определение эффективности автоматизации технологического комплекса в целом и его частей в частности;
- анализ и интерпретация результатов оценивания эффективности функционирования ТКС в целом и его частей в частности;
- расчет количества образующихся отходов и количество вредных выделяемых веществ в результате эксплуатации ТКС и определение уровня вредного воздействия ТКС на окружающую среду;
- формирование выводов по проведенным на ТКС технологическим и диагностическим мероприятиям.

После выявления ключевых компетенций необходимо:

- оценить степень развития этих компетенций в целом по группе и у каждого отдельного сотрудника;
- выявить наиболее «проблемные» компетенции;
- установить, по какой причине эти компетенции являются недостаточно развитыми;
- предложить комплекс мероприятий по решению проблемы;
- оценить эффективность реализации этого комплекса мероприятий.

Причины же недостаточного развития компетенций, и как следствие неэффективного использования и развития ТР, могут быть, в частности, следующими:

- неэффективно организована система по работе с персоналом;
- недостаточно проработана база по обучающим курсам;
- отсутствие или недостаток очных тренингов;
- отсутствие желания у сотрудника развивать свои профессиональные компетенции;
- отсутствие у сотрудника способности к выполнению возложенных на него задач;
- отсутствие времени у сотрудника, загруженный график работы; и др.

Мероприятия по развитию ТР будут существенно зависеть от того, какие компетенции являются значимыми для группы ТР, а также от того, на каком уровне эти компетенции сформированы в данный момент. Главным образом, они могут быть направлены на управленческие и профессиональные качества сотрудника. Основными типами таких мероприятий являются:

- обучающие – направлены на получение сотрудником новых необходимых знаний и умений, которые потом можно будет использовать в трудовой деятельности;
- развивающие – используются для совершенствования имеющихся и приобретения новых профессиональных навыков;
- закрепляющие – предполагают отработку уже имеющихся навыков и преобразование их в практический опыт.

На практике часто используются следующие мероприятия:

- очные учебные теоретические и практические занятия;
- обучающие курсы в учебном центре предприятия ОВТ;
- доступ в корпоративную библиотеку, в т. ч. электронную;
- формирование и реализация индивидуальной траектории развития сотрудника;
- выполнение специальных заданий или проектов;
- поиск обратной связи;
- стажировка на другом предприятии ОВТ;
- обмен опытом с экспертами интересующей области;
- обмен опытом со смежными предприятиями-партнерами;
- наставничество;
- тестирование и др.

Мероприятия, касающиеся обмена опытом, следует рассмотреть отдельно в ракурсе междисциплинарного подхода к развитию персонала. Так, авторы исследования [2] утверждают, что многие проблемы, возникающие на ТКС в условиях их тотальной автоматизации, возникают из-за отсутствия специалистов, владеющих междисциплинарными технологиями. Современные информационные технологии требуют от инженера-механика междисциплинарных знаний нового уровня. Продвинутые судовые специалисты добывают их путем самообразования или на курсах переподготовки, так как программы и методики подготовки инженеров-механиков в ведущих вузах ОВТ не отвечают современному уровню развития морского судна и требованиям международных морских организаций в области обеспечения надежного и безопасного мореплавания. В качестве решения данной проблемы авторы предлагают использовать практику базовых кафедр и организовать при ведущих вузах ОВТ базовую кафедру «Перспективные междисциплинарные технологии в морском образовании» как интегрированную образовательную структуру в отрасли, а также практику создания и творческого развития вертикально интегрированных образовательных комплексов путем объединения программ высшего и среднего профессионального образования.

Предлагаемые нововведения требуют ряда подстроечных мероприятий по формированию и развитию базовой кафедры и вертикально интегрированных образовательных комплексов для образовательных нужд более 300 тыс. учащихся транспортных образовательных учреждений и такого же количества занятых в ОВТ специалистов. Это огромная армия ТР, для эффективного образовательного обслуживания которой требуется слаженная работа образовательных организаций в тесном взаимодействии с предприятиями ОТВ. Именно поэтому выбор конкретных мероприятий и их конфигурирование для реализации стратегии повышения эффективности ТР – сверхзадача данного исследования, решение которой ручными методами управления невозможно, и должно осуществляться с применением технологий поддержки принятия решений, а также методов оптимизации, обеспечивающих подбор близкой к оптимальной конфигурации управленческих решений с учетом ограничений на их структурные характеристики. Данный подход рассмотрен в работе [4] при решении задачи планирования культурно-массовых мероприятий, в результате чего отмечено повышение качества и многообразия предлагаемых услуг, достижение соответствия предложений потребностям населения.

Оценивание эффективности мероприятий по развитию ТР можно проводить на двух уровнях. Первый уровень предполагает общее подведение итогов, сравнение плана и результатов по мотивационной программе. Такая оценка является самой очевидной и наименее трудоемкой, но достаточно грубой. Второй уровень предполагает экспертное оценивание тех изменений, которые происходят в развитии ключевых компетенций сотрудника. Разработанный авторами подход к оцениванию компетенций с учетом личностных и профессиональных качеств испытуемых [5] позволяет за период 1-2 часов спланировать и провести комплексное и относительно объективное исследование сформированности сколь угодно сложно структурированных компетенций.

В заключение рассмотрим основные проблемы, которые могут возникать в области управления развитием ТР.

Проблема обеспеченности ресурсами – самая очевидная проблема. Речь идет о: финансовых ресурсах, таких как средства на проведение мероприятий по развитию персонала; временных ресурсах для проведения мероприятий по развитию персонала; человеческих ресурсах для их кадрового обеспечения. И здесь возникает дополнительная проблема оценивания профессиональных компетенций и качества работы этих кадров.

Комплексное оценивание эффективности работы персонала, выявление проблем и факторов, их определяющих, и оценивание эффективности мероприятий по развитию персонала тесно связаны с необходимостью количественного оценивания качественных характеристик. В идеале должна быть разработана многоуровневая методика оценивания, на первом уровне которой оценивание проводится на основе имеющихся в отчетах компании количественных показателей, а на последующих уровнях в оценку включаются качественные характеристики. Выявление наиболее важных качественных показателей и распределение их по уровням – одна из проблем построения такой многоуровневой методики.

Проблема, возникающая при оценивании степени эффективности мероприятий по развитию персонала: какой уровень эффективности мероприятий считать пороговым, допустимым? По каким критериям определять этот порог, особенно учитывая, что часть мероприятий могут носить отложенный характер? Эти и другие вопросы требуют проведения дополнительных исследований, выходящих за рамки данной статьи.

Литература

1. *Мягков А.Ю.* Студенты технического вуза: профессиональные компетенции и ожидания на рынке труда // Социологические исследования. – 2016. – № 6. – С. 102–109.
2. *Костылев И.И., Мясников Ю.Н., Петухов В.А.* Безопасность мореплавания и проблемы подготовки морских инженеров // Судостроение. – 2014. – № 6 (817). – С. 26–27.
3. *Барбара А.Д.* Методы и алгоритмы оценки трудового потенциала инженерно-технических работников в задачах управления персоналом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах. – Новокузнецк, 2014. – 19 с.
4. *Ковалева Е.Г., Полетаikin А.Н.* Разработка информационной системы планирования культурно-массовых мероприятий // Материалы российской научно-технической конференции «Обработка информации и математическое моделирование». – Новосибирск, СибГУТИ, 2017. – С. 238–242.
5. *Il'ina T., Kanev V., Polietaikin A.* Neoclassical Approach to Objectivization of Competency Assessment // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, 18–22 Sep. 2017, Novosibirsk, Akademgorodok, Russia. – Novosibirsk, 2017. – С. 72–76.

УДК 528.47:656.025.4

Е.О. Ольховик

*Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова,
Санкт-Петербург, 198035*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА МАРШРУТАХ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Морские грузовые перевозки по Северному морскому пути имеют сложную структуру, которая существенно отличается от традиционной в незамерзающих морях. Планируемое увеличение грузооборота в акватории Северного морского пути до 80 млн тонн к 2024 г. потребует организации условий для безопасного судоходства крупнотоннажных судов высокого ледового класса и судов, движение которых выполняется при проводке ледокола. Кратное увеличение количества грузовых судов в Арктике потребует детального изучения пропускной способности судоходных трасс и моделирования морских транспортных потоков по основным направлениям существующей и перспективной грузовой базы, входу и выходу на Северный морской путь. Накопленные данные о движении судов в арктических морях за прошлые периоды позволяют сформировать качественную информацию об основных транспортных потоках и их особенностях в период зимней и летней навигации. Для проведения исследования использовались методы геоинформационного моделирования, которые позволяют выполнять как визуализацию, так и необходимые количественные расчеты. Приводятся результаты для выбранных модельных периодов (месяц в период зимней и летней навигации 2018 г.). Выявлены общие закономерности транспортных потоков, предложены направления для дальнейших исследований.

Ключевые слова: Северный морской путь, морские транспортные потоки, геоинформационные системы.

E.O. Ol'khovik

*State University of Marine and Inland Water Transport named after Admiral S.O. Makarov,
Saint-Petersburg, 198035*

RESEARCH OF MARINE TRANSPORT FLOWS QUANTITATIVE CHARACTERISTICS ON THE NORTHERN SEA ROUTE

Sea freight transport along the Northern sea route has a complex structure, which is significantly different from the traditional one in non-freezing seas. The planned increase in cargo turnover in the Northern sea route to 80 million tons by 2024 will require the organization of conditions for safe navigation of large-tonnage vessels of high ice class and vessels accompanied with icebreaker pilotage. A multiple increase in the number of cargo ships in the Arctic will require a detailed study of the capacity of shipping routes and marine traffic flows modeling in the main areas of the existing and future cargo base, the entrance and exit to the Northern sea route. The accumulated data on the ships motion in the Arctic seas for the past periods allows to form qualitative information about the main traffic flows and their features during the winter and summer navigation. To conduct the research the methods of geoinformation modeling were used which allow to perform both visualization and necessary quantitative calculations. The results for the selected model periods (a month during the winter and summer navigation of 2018) are presented. The General regularities of transport flows are revealed, the directions for further research are offered.

Key words: Northern sea route, sea traffic flows, geoinformation systems.

Введение

Запланированное увеличение грузооборота в акватории Северного морского пути (СМП) до 80 млн тонн в год [1] к 2024 г. ставит новые задачи по обеспечению безопасности и эффективности работы морского транспорта в арктических морях России. Развитие научно-обоснованных методов прогнозирования морских транспортных потоков позволит сформировать фундаментальную основу для планирования и проектирования судоходных трасс, обеспечить безопасность при управлении судоходной навигацией, увеличить пропускную способность маршрутов и оптимизировать работу портовых служб.

Морские грузовые перевозки в акватории СМП имеют сложную структуру, которая существенно отличается от традиционной. Зимняя навигация предполагает использование ледокольного сопровождения и судов с высоким ледовым классом, район плавания ограничен западной частью СМП в Карском море. Летняя навигация составляет примерно четыре месяца, в этот период количество судов и их активность возрастает почти в десять раз, выполняются транзитные переходы по СМП, площадь акватории, свободная ото льда, также возрастает в несколько раз, при этом значительного увеличения грузооборота летом не происходит. Последнее объясняется тем, что основной вклад в общий грузооборот морских перевозок вносят крупнотоннажные суда, которые работают в режиме круглогодичной навигации.

СМП – имеет признаки закрытой транспортной системы, которая связана с соседними акваториями ограниченным количеством транспортных входов и выходов. Перевозки внутренним водным транспортом по сибирским рекам обеспечивают «северный завоз», объем которого год к году практически не изменяется, все транспортные операции происходят внутри СМП.

На Арктическом факультете ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» традиционно проводятся масштабные научные исследования на предмет изучения особенностей морской транспортной системы СМП по следующим направлениям:

- гидрографическая изученность СМП [2–4];
- безопасность полярного плавания в акватории СМП, оценка навигационных рисков [5, 6];
- геоинформационное моделирование морских транспортных потоков на СМП [7, 8].

Настоящая работа посвящена исследованию сезонной изменчивости основных показателей морской транспортной системы СМП.

Методы и материалы

Исследование выполнялось с использованием методов и программного обеспечения, используемых в доступных географических информационных системах QGIS и ArcGis. В качестве картографической основы использовались слои OSM/ESRI Ocean. Исходную информацию составляли архивные сведения о маршрутах движения судов в акватории СМП, полученные по каналам автоматизированных информационных систем (АИС), а также официальные данные, предоставляемые пользователям Администрацией Северного морского пути [9]. Информация включала в себя следующие сведения:

- дата, время;
- название судна;
- тип судна;
- географические координаты судна;
- номер IMO судна;
- скорость судна;
- курс судна;
- направление движения судна (ETA);
- данные о тактико-технических характеристиках судна по регистровым данным (максимальная скорость, осадка, ледовый класс, валовая вместимость).

Первичная обработка данных включала в себя их статистическую обработку, визуализацию, формирование информационных слоев на заданный временной отрезок времени, соответствующий суткам, месяце, кварталу, навигационному периоду, году и так далее.

Прямой подсчет морских судов показывает, что в летний навигационный период в акватории Северного морского пути ежедневно общее количество достигает 300 единиц. Вместе с тем только небольшая часть судов занята непосредственно в морских грузоперевозках.

Учитывая эту особенность, информационные слои ГИС подвергались фильтрации, суть которой сводилась в подсчете количества судов, непосредственно не участвовавших в грузоперевозках, а выполнявших исключительно вспомогательные работы. Информация о таких судах переносилась на отдельный информационный слой.

К таким судам были отнесены: суда с валовой вместимостью менее 4 тыс. тонн, буксиры, ледоколы, речные суда, научно-исследовательские суда, аварийно-спасательные суда, корабли военно-морского флота и другие.

С использованием информационных слоев ГИС исследовались основные потоки грузовых судов в акватории СМП. Отмечено, что основная часть таких потоков в зимнюю навигацию сосредоточена, в основном, в Карском море. В зимнюю навигацию морские грузовые потоки прак-

тически отсутствуют, за исключением одиночных транзитных рейсов, проходящих через все моря акватории СМП [8]. В летний навигационный период морские транспортные грузоперевозки выполняются на всей акватории СМП. На рис. 1 представлен пример информационного слоя ГИС, отражающего движение грузовых судов во всей акватории СМП в период со второй половины августа до середины сентября 2018 г.

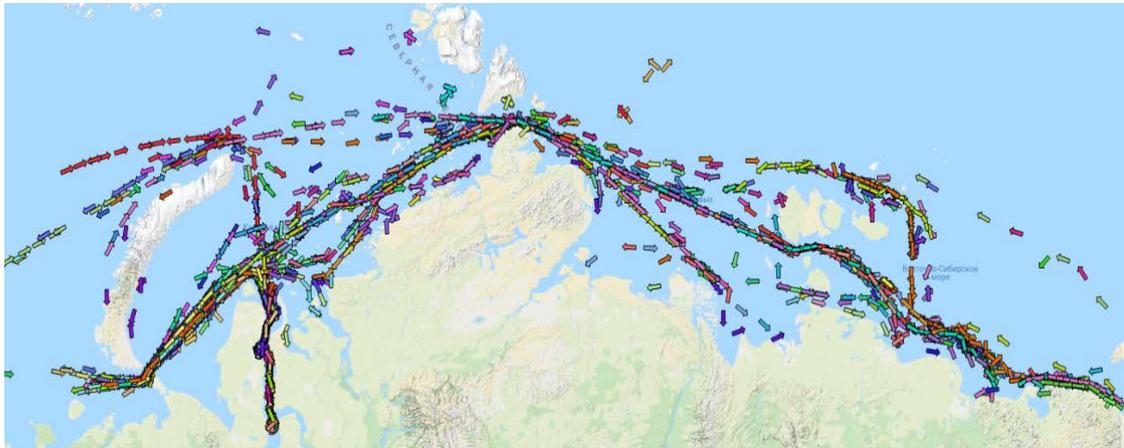


Рис. 1. ГИС-данные о маршрутах движения грузовых судов в акватории СМП во второй половине августа – первой половине сентября 2018 года

Результаты

Исследование морской транспортной системы СМП за период 2014–2018 гг. показало, что она имеет сложный характер и существенно отличается от других морских транспортных систем. Для описания динамики отдельных элементов системы и системы в целом должно использоваться большое число параметров, которые сложным образом изменяются по площади акватории и во времени.

К числу основных параметров системы следует отнести следующие:

- среднюю скорость на маршруте движения (коммерческая скорость судна);
- общее количество судов на маршруте их движения;
- распределение дистанций между судами на маршруте их движения;
- плотность потока судов на разных участках акватории;
- время стоянок судов на внешней акватории портов;
- время нахождения судов в портах, а также изменение всех перечисленных показателей

в зависимости от навигационного периода.

Основные количественные показатели морских транспортных потоков характеризуются значительной изменчивостью по площади акватории. На рис. 2. представлена расчетная плотность морских транспортных потоков на СМП как интегральный показатель, рассчитанный средствами ГИС и учитывающий количество судов на единицу площади и скорость их движения. Наибольшая плотность отмечается в Карском море, на входе в Обскую губу, где активно работают порт Сабетта и Новый порт, а также на подходах со стороны пролива Карские Ворота. Повышенная плотность судовых потоков также отмечается в проливах Вилькицкого и Санникова, что объясняется узким проходом, а также в Восточно-Сибирском море на подходах к порту Певек.

Судовые потоки также оценивались по результатам подсчет судов, пересекающих четыре линии, которые на рис. 2 обозначены зелеными линиями. Вход в акваторию СМП с запада задан двумя сечениями: Карские Ворота и мыс Желания. Выход из Карского моря на восток обозначен линией, проходящей через пролив Вилькицкого. Выход из Восточно-Сибирского моря в Чукотское море обозначен линией, пересекающей пролив Лонга.

Данные о пересечении выделенных линий грузовыми судами фиксировались каждые сутки. Подсчет судов позволил получить объективную картину о балансе судов на исследуемом участке СМП. Общее количество судов определялось по формуле:

$$N_{\text{суд}} = N_{\text{суд-1}} + N_{\text{КВ}} + N_{\text{МЖ}},$$

где $N_{\text{суд}}$ – количество судов в исследуемые сутки;

$N_{\text{суд-1}}$ – количество судов в прошлые сутки;

$N_{КВ}$ – количество судов, прошедших через пролив Карские ворота (положительное значение при входе, отрицательное значение при выходе);

$N_{МЖ}$ – количество судов, прошедших через мыс Желания (положительное значение при входе, отрицательное значение при выходе).

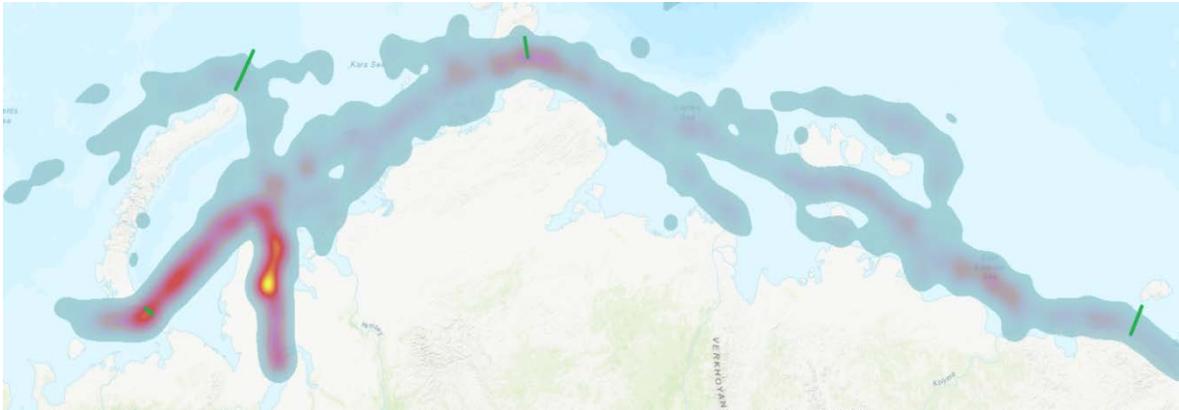


Рис. 2. Плотность морских транспортных потоков на СМП, зеленые линии – зоны входа (выхода) на СМП, перехода из восточной в западную часть

На рис. 3 представлены графики изменения количества судов в западной части акватории СМП в период зимней навигации 2018 г. На вертикальной оси отложено количество судов, на горизонтальной оси – временной интервал с 10 сентября по 20 февраля 2018 г.

Верхняя синяя линия соответствует общему количеству судов, находящихся в акватории СМП.

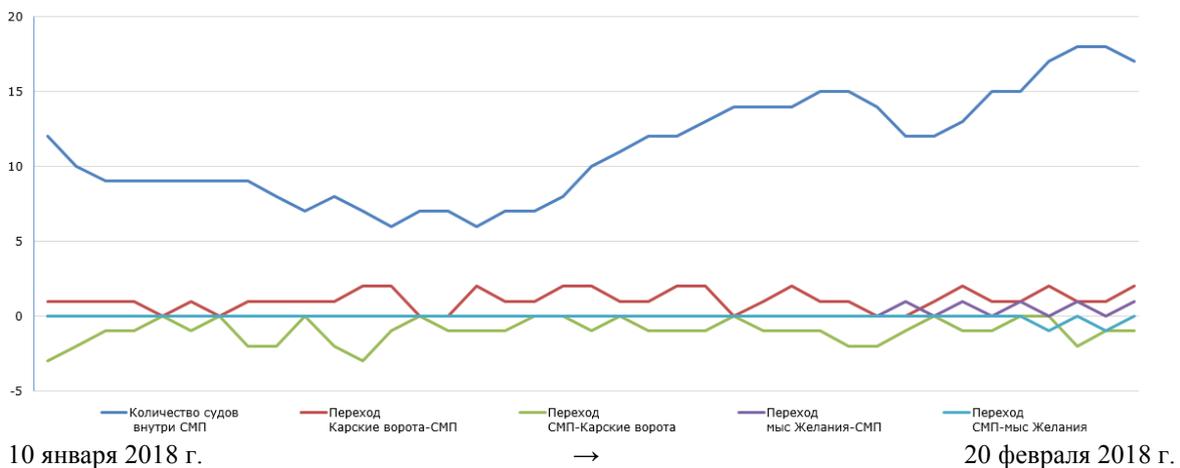


Рис. 3. Динамика изменения количества судов в Западном секторе СМП (период зимней навигации 2018 г.)

Динамика изменения судового потока в акватории СМП в летний период показана на рис. 4.

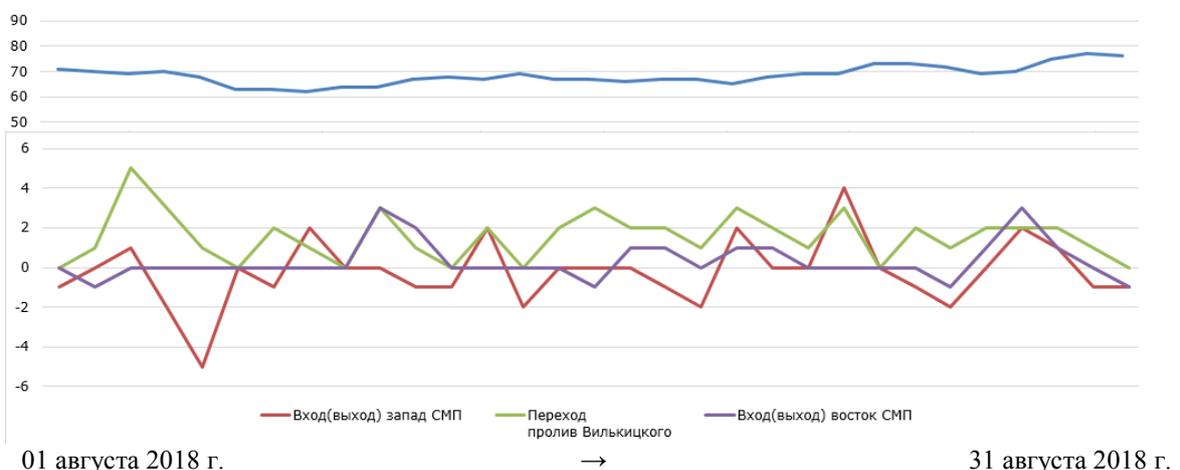


Рис. 4. Динамика изменения количества судов на СМП (период летней навигации 2018 г.)

Обсуждение результатов

В отличие от общего подсчета количества судов в акватории СМП (котловой подсчет), в работе использовалась методика, которая позволяет получить детальную картину распределения морских транспортных потоков в акватории СМП в различные навигационные периоды. Сравнение полученных результатов с результатами работ [10, 11] позволило подтвердить некоторые преимущества использованной методики по сравнению с расчетными методами прогнозирования морских транспортных потоков, а также методами расчета, основанными на использовании нейронных сетей.

В результате проведенного исследования был выявлен ряд особенностей морской арктической транспортной системы, среди которых следует отметить:

- в зимнюю навигацию для входа и выхода в акваторию СМП используется, как правило, только пролив Карские Ворота;
- в зимнюю навигацию интенсивность морских перевозок в Карском море уменьшается, в остальных морях акватории СМП морские перевозки практически прекращаются;
- в летний период интенсивность пересечения транспортными судами западных границ акватории СМП более чем в два раза превышает интенсивность пересечения восточных границ;
- в летнюю навигацию транзитные перевозки с запада на восток происходят с большей интенсивностью, чем с востока на запад.

Заключение

Морские транспортные операции в акватории СМП находятся в стадии развития.

Несмотря на большое количество судов, находящихся в акватории СМП, непосредственное участие в грузоперевозках принимает малая их часть.

В акватории СМП плотность судовых потоков в летнюю навигацию существенно превышает плотность зимней навигации.

Использованная в работе методика сбора и визуализации информации повышает качество исследования морских транспортных систем.

Совершенствование методики будет направлено на совершенствование методов идентификации транспортных процессов, развитие методов прогнозирования и оптимизации потоков судов в акватории СМП.

В дальнейшем планируется расширить исследования по предложенной методике и выполнить сравнение потоков по всем направлениям на СМП за период календарного года в сравнении к предыдущим периодам.

Литература

1. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204.
2. *Афонин А.Б., Тезиков А.Л., Ольховик Е.О.* Разработка методов оценки проходных глубин на трассах Северного морского пути в зависимости от подробности съемки рельефа дна // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 4(38). – С. 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.
3. *Афонин А.Б., Королев И.Ю., Тезиков А.Л.* Исследование влияния подробности гидрографической съемки на оценку проходных глубин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017. – № 5(45). – С. 1007–1016. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1007-1016.
4. *Тезиков А.Л., Афонин А.Б., Ольховик Е.О.* Гидрографическая изученность акватории Северного морского пути // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 2 (75). – С. 19–21.
5. *Афонин А.Б., Королев И.Ю., Тезиков А.Л.* Исследование факторов, влияющих на навигационную аварийность в условиях мелководья // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017. – № 4 (44). – С. 735–743. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-8-4-735-743.
6. *Ольховик Е.О.* Исследование влияния мелководья на изменение скоростных режимов судов в акватории Северного морского пути // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2018. – № 3 (49). – С. 486–496. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-486-496.

7. *Ольховик Е.О., Афонин А.Б., Тезиков А.Л.* Информационная модель морских транспортных потоков Северного морского пути // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2018. – № 1 (47). – С. 97–105. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-97-105.
8. *Ольховик Е.О.* Анализ скоростных режимов СПГ-танкеров в акватории Северного морского пути в период зимней навигации 2017–2018 гг. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2018. – № 2 (48). – С. 300–308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.
9. Администрация Северного морского пути [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nsra.ru/> (дата обращения: 10.09.2018).
10. *Zhang Z. et al.* Vessel traffic flow analysis and prediction by an improved PSO-BP mechanism based on AIS data // *Evolving Systems*. – 2018. – P. 1–11.
11. *Benedyk I.V., Peeta S.* A binary probit model to analyze freight transportation decision-maker perspectives for container shipping on the Northern Sea Route // *Maritime Economics & Logistics*. – 2016. – P. 1–17.

УДК 52-17:003.26

В.О. Осипян

Кубанский государственный университет,

Краснодар, 350040

e-mail: v.osipyan@gmail.com

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛФАВИТНОЙ АСИММЕТРИЧНОЙ
КРИПТОСИСТЕМЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ДИОФАНТОВЫ ТРУДНОСТИ
С ПРОВЕРКОЙ НА МОДИФИКАЦИЮ ДАННЫХ**

Показана объективная необходимость совершенствования систем защиты информации в условиях развития информационно-телекоммуникационных технологий. Разрабатываются математические модели алфавитных криптосистем в виде кортежей. В статье красной нитью проходит идея К. Шеннона, который считал, что наибольшей неопределенностью при подборе ключей обладают криптосистемы, содержащие диофантовы трудности.

Ключевые слова: алфавитная криптосистема, математическая модель криптосистемы, симметрическая и асимметрическая система защиты информации, диофантовы трудности.

V.O. Osipyan

Kuban State University,

Krasnodar, 350040

e-mail: v.osipyan@gmail.com

**MATHEMATICAL MODEL OF ALPHABETICAL ASYMMETRIC CRYPTOSYSTEM
CONTAINING DIOPHANTINE DIFFICULTIES
WITH DATA MODIFICATION INSPECTION**

The objective necessity of improving the information protection systems in conditions of information and telecommunication technologies development is presented. Mathematical models of alphabetical cryptosystems in the form of tuples are being developed. The idea of K. Shannon who believed that it is cryptosystems containing Diophantine difficulties have the greatest uncertainty in keys selection is developed in the article.

Key words: alphabetical cryptosystem, mathematical model of cryptosystem, symmetric and asymmetric information security system, Diophantine difficulties.

Введение

Известно [1–3], что криптостойкость систем защиты информации зависит от первоначального способа кодирования элементарных сообщений, в частности букв, и процедуры последующего преобразования открытого текста. На основе теоретических истоков построения математических моделей эффективных систем защиты информации (СЗИ, криптосистем) мы исходим из необходимости использования сложных математических задач, решение которых потребует от нелегального пользователя большого объема вычислительной работы и ресурсов. К таким задачам, следуя К. Шеннону и авторам [1, 5, 6, 9, 14, 17–18], относятся задачи, содержащие диофантовы трудности, использование которых позволяют увеличить множество перебираемых ключей до счетного множества. Основная идея данной работы по К. Шеннону состоит в реализации сложной криптосистемы защиты информации, содержащей диофантовы трудности, позволяющие смоделировать стойкие системы передачи и защиты информации. К. Шеннон отмечал, что наибольшей неопределенностью при подборе ключей обладают СЗИ, содержащие диофантовы трудности.

Предварительно представим математическую модель алфавитной криптосистемы, разработанной автором, в виде следующего кортежа:

$$\sum_0 = \langle M^*, Q, C^*, E(m), D(c) | V(E(m), D(c)) \rangle, \quad (1)$$

где M^* – множество всех сообщений $m = m_1 m_2 \dots m_k$ (открытых текстов) над буквенным или числовым алфавитом M . Здесь $m_i, i = 1 \dots k$ – элементарные сообщения (в частности, буквы или конкатенация букв из алфавита M),

Q – множество всех числовых эквивалентов элементарных сообщений m_i из M^* ;

C^* – множество всех шифртекстов (криптограмм) $c = c_1 c_2 \dots c_k$ над алфавитом C , в частности, возможно $M = Q = C$;

$E(m)$ – алгоритм прямого преобразования (шифрования) сообщения m в c ;

$D(c)$ – алгоритм обратного преобразования (дешифрования) шифртекста (криптограммы) c в $m \in M^*$.

Подчеркнем, что алгоритмы $E(m)$ и $D(c)$ алфавитной криптосистемы (1) связаны между собой таким образом – $V(E(m), D(c))$, что всегда произвольное сообщение $m = m_1 m_2 \dots m_k \in M^*$ однозначно преобразовывается в соответствующую криптограмму (шифртекст) $c = c_1 c_2 \dots c_k \in C^*$ и, наоборот: по криптограмме c всегда однозначно восстанавливается переданное сообщение m .

Альтернативным обозначением алгоритмов $E(m)$ и $D(c)$ для алфавитной криптосистемы (1) является K_E (или F_E) и K_D (или F_D) соответственно – как принято считать в классической криптографии [1–3, 5–6, 9, 14]. Мы их назовем иначе ключами (или функциями) шифрования и дешифрования соответственно. Автор не претендует на полноту освещения аналогичных математических моделей алфавитных криптосистем (1), единственная его цель – формально описать произвольную криптосистему.

Прежде всего, заметим, что прямое преобразование открытого текста m , состоящего из одного элементарного сообщения m_1 или конкатенация таких сообщений $m_1 m_2$ осуществляется путем равномерного увеличения длины ключа этого преобразования. Так, например, если в качестве элементарного сообщения выступает одна буква $m = *$ с числовым эквивалентом c_1 , например, получаемый на основе стандартного ранца (аддитивного или мультипликативного) длины n , то конкатенации $m = **$ будет соответствовать числовой эквивалент $c_1 c_2$ – длины $2*n$, имеющий блоковую структуру. Можно указать и другие способы установления размерностей и степеней расширенных рюкзаков на основании утверждений, приведенных в работах автора [5].

Некоторые простые математические модели алфавитных криптосистем

Для удобства сначала рассмотрим некоторые простые примеры моделей алфавитных криптосистем вида (1), причем для реализации алгоритмов E и D мы, почти всегда, рассмотрим изоморфный к алфавиту M числовой алфавит $M_N = \{1, 2, \dots, N\}$.

Пример 1. Математическая модель криптосистемы кодирования информации.

Известно, что функции $\text{ord}(m_i)$ и $\text{chr}(s_i)$ являются взаимно-обратимыми функциями, причем, если $\text{ord}(m_i)$ определяет порядковый номер буквы m_i в заданном алфавите M , то, наоборот, функция $\text{chr}(s_i)$ – по порядковому номеру s_i определяет соответствующую букву m_i .

Приведем простейшую модель (2) алфавитной криптосистемы (1), которая кодирует любое сообщение m из M^* и декодирует заданное кодовое слово s из S^* с использованием этих функций:

$$\sum_1 = \langle M = \{A, B, C, _ \}^*, K_E(m_i) = \text{ord}(m_i), K_D(s_i) = \text{chr}(s_i), S = \{1, 2, 3, 4\}^* \rangle. \quad (2)$$

Так, например, если исходное сообщение $m = BAC_AB_AB$, то, применяя ключ шифрования $K_E(m_i) = \text{ord}(m_i)$ к каждой букве сообщения m из M^* , получим следующий шифр-текст $q = 213412412$, т. к. $\text{ord}(B) = 2, \text{ord}(A) = 1, \text{ord}(C) = 3, \text{ord}(_) = 4$.

Теперь, обратно, применяя к каждой шифре криптограммы $q = 213412412$ обратную для ord функцию chr , получим исходное сообщение $m = BAC_AB_AB$, т. к. $\text{chr}(1) = A, \text{chr}(2) = B, \text{chr}(3) = C, \text{chr}(4) = _$.

Пример 2. Математическая модель криптосистемы Цезаря.

Рассмотрим криптосистему (3) на основе функций $\text{succ}(x) = x + 1$ и $\text{pred}(x) = x - 1$. Данный шифр известен в литературе как шифр Цезаря – шифр подстановки, в котором каждая буква в открытом тексте заменяется буквой, находящейся в алфавите, на некоторое постоянное число позиций левее (pred) или правее (succ) от него. Так, например, для алфавита заглавных букв английского языка имеем: $\text{pred}(C) = B, \text{pred}(B) = A, \text{succ}(A) = B, \text{succ}(C) = D$ и т. д. Стало быть, мы имеем постоянное число, равное 1, и следующую математическую модель алфавитной криптосистемы Цезаря:

$$\sum_2 = \langle M = \{A, B, \dots, Z\}^*, K_E(m_i) = \text{succ}(m_i), K_D(s_i) = \text{pred}(s_i), S = \{A, B, \dots, Z\}^* \rangle. \quad (3)$$

Так, например, если $m = BAC AB AB$ – исходное сообщение, то соответствующий шифртекст имеет вид: $q = CBD BC BC$, т. к. функция шифрования $K_E(m_i) = succ(m_i)$ каждую букву m_i заменяет буквой, следующей за буквой m_i , а именно: $succ(A) = B, succ(C) = D, succ(B) = C$.

Теперь, обратно, по ключу дешифрования $K_D(s_i) = pred(s_i)$ из шифртекста $s = CBD BC BC$ очевидным образом получим исходное сообщение $m = BAC AB AB$, т. к. $pred(B) = A, pred(C) = B, pred(D) = C$.

Заметим, что применяя к указанным функциям $succ(x) = x + 1, pred(x) = x - 1$ натуральных k вложений, а именно: $succ(succ \dots succ(x) \dots) = x + k$ (соответственно $pred(pred \dots pred(x) \dots) = x - k$), мы получим то постоянное число k , которое указывает число позиций левее ($pred$) или правее ($succ$) в алфавите M от заданной буквы.

Пример 3. Математическая модель симметрической криптосистемы на основе операции сложения по модулю 2.

Рассмотрим математическую модель алфавитной криптосистемы (1) вида:

$$\sum_3 = \left\langle M = \{A, B, C, \dots\}^*, K_E(m_i) = m_i \oplus 1101, K_D(s_i) = s_i \oplus 1101, S = ASCII^* \right\rangle. \quad (4)$$

Очевидно, мы имеем криптосистему и способ шифрования с помощью операции сложения \oplus по модулю 2: к битам открытого текста m прибавляются соответствующие биты ключа, например, $K_E = 1101$ (здесь использованы ASCII – коды для букв алфавита M).

Так, например, если сообщение m имеет вид $m = A BAC$, в компактной шестнадцатеричной системе счисления $N_{16} = 41 20 42 41 43_{16}$, в двоичной системе счисления – $N_2 = 0100 0001 0010 0000 0100 0010 0100 0001 0100 0011_2$ соответственно, то, записывая ключ $K_E = 1101$ под сообщением m десять раз, начиная с начала, и применяя операцию сложения \oplus по модулю 2, получим следующую криптограмму s :

$$q = 1001 1100 1111 1101 1001 1111 1001 1100 1001 1110 = N_2,$$

или же $q = 9C FD 9F 9C 9E_{16} = N_{16}$ – в шестнадцатеричной системе счисления. Для дешифрования этой криптограммы следует применить соответствующий ключ дешифрования $K_D(s_i) = q_i \oplus 1101$ к каждому шифру q_i и получить исходное сообщение $m = A BAC$.

Заметим, что в данной криптосистеме (4) значение ключа дешифрования K_D в точности совпадает со значением ключа шифрования K_E , т. е. $K_D = K_E = 1101$.

Пример 4. Математическая модель числовой криптосистемы на основе перестановок.

Пусть изоморфный к алфавиту M числовой алфавит M_N состоит из чисел: $M_N = \{1, 2, \dots, N\}$. Рассмотрим криптосистему и способ шифрования открытого текста m с помощью подстановки P степени n :

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & n \\ k_1 & k_2 & k_3 & \dots & k_n \end{pmatrix},$$

где k_i – номер места криптограммы, на которое попадает i -я буква открытого текста $m = m_1 m_2 \dots m_n$ при заданной перестановке, т. е.

$$s_i = \begin{cases} m_{k_i}, & \text{если } i \leq n, \\ m_{k_i-n}, & \text{если } i > n. \end{cases}$$

Математическая модель этой криптосистемы, очевидно, можно представить в виде:

$$\sum_4 = \left\langle M_N = \{1, 2, \dots, n\}^*, K_E = P = \begin{pmatrix} 1 & 2 & \dots & n \\ k_1 & k_2 & \dots & k_n \end{pmatrix}, K_D = P^{-1} = \begin{pmatrix} k_1 & k_2 & \dots & k_n \\ 1 & 2 & \dots & n \end{pmatrix}, S = \{1, 2, \dots, n\}^* \right\rangle.$$

Пример 5. Математическая модель алфавитной асимметричной криптосистемы, содержащей диофантовы трудности с проверкой на модификацию криптограммы.

Рассмотрим асимметричную криптосистему на основе труднорешаемой задачи диофантова уравнения $P(x_1, x_2, \dots, x_i) = 0$, для которой ключами шифрования и дешифрования являются сами решения указанного уравнения. Здесь, для наглядности, в качестве примера рассмотрим уравнение Пифагора второй степени и его следующий класс решений над N в виде (в более общем случае можно рассмотреть его решения над Z или Q):

$$x^2 + y^2 = z^2, x = a^2 - b^2, y = 2ab, z = a^2 + b^2, \quad (5)$$

где a и b – произвольные натуральные числа, причем $a > b$.

Пусть $a = 26$ указывает мощность исходного алфавита M – заглавных букв английского языка (в более общем случае – некий ключ для легального пользователя), т. е. $M = \{A, B, \dots, Z\}$, а $Q = \{1, 2, \dots, 26\}$ – множество их числовых эквивалентов (шифры букв). Тогда двухпараметрические решения уравнения (5) с учетом значения параметра a примут вид:

$$x = 26^2 - b^2, y = 52b, z = 26^2 + b^2,$$

или

$$x = 676 - b^2, y = 52b, z = 676 + b^2.$$

Рассмотрим математическую модель алфавитной асимметричной криптосистемы с проверкой на модификацию сообщения m , содержащей диофантовы трудности:

$$\sum_5 = \langle M = \{A, B, \dots, Z\}^*, K_E(x, y, a, b), K_D(z, a, b), S = \{A, B, \dots, Z\}^* \rangle. \quad (6)$$

Здесь $K_D(z, a, b)$ – секретный ключ (функция от a и b) и ключ для проверки правильности сообщения легальным пользователем; $K_E(x, y, a, b)$ содержит открытые ключи преобразования сообщения m (они тоже являются функциями от a и b); переменные x, y и z являются специальными лазейками для нашей криптосистемы (6).

Для лучшего понимания указанной модели (6) мы здесь отдельные детали функционирования криптосистемы опускаем и рассматриваем только процедуру шифрования и проверки криптограммы на модификацию данных.

Пусть, например, сообщение имеет вид: $m = \text{DIOPHANT}$. Тогда, учитывая числовые эквиваленты указанного сообщения m (см. таблицу, шифры букв), преобразуем его в криптограммы $q1 = q1'q2' \dots qk' \in C^*$, $q2 = q1''q2'' \dots qk'' \in C^*$ и $q3 = q1'''q2''' \dots qk''' \in C^*$ на основе трех следующих ключей соответственно.

Числовые эквиваленты некоторых английских заглавных букв

| m | D | I | O | P | H | A | N | T |
|---|---|---|----|----|---|---|----|----|
| s | 4 | 9 | 15 | 16 | 8 | 1 | 14 | 20 |

Так, например, для заданного m , на основе открытого ключа $K_{E1}(x, a, b) = a^2 - b^2$, имеем следующую криптограмму:

$$q1 = 660\ 595\ 451\ 420\ 612\ 675\ 480\ 276.$$

Аналогично строим криптограммы

$$q2 = 208\ 468\ 780\ 832\ 416\ 52\ 728\ 1040 \text{ и } q3 = 692\ 757\ 901\ 932\ 740\ 677\ 872\ 1076$$

по ключам $K_{E2}(y, a, b) = 2ab$ и $K_D(z, a, b) = 676 + b^2$ соответственно.

Очевидно, для восстановления этих криптограмм можно либо с помощью секретного ключа $K_D(x, y, a, b) = a^2 + b^2$, либо двумя другими ключами $K_{E1}(x, a, b) = a^2 - b^2$, $K_{E2}(y, a, b) = 2ab$, причем в силу (5) имеет место равенство $q1^2 + q2^2 = q3^2$.

Рассмотрим теперь процедуру дешифрования и проверки правильности полученного текста этих криптограмм.

Так, например, применяя секретный ключ легального пользователя к шифру $s3 = 692$, получаем: $q3 = 692 = 676 + b^2$ или $b^2 = 692 - 676 = 16$, $b = 4$, откуда следует, что $m_1 = D$.

Аналогично, можно восстановить остальные 7 буквы I, O, P, H, A, N и T криптограммы $q3$.

Теперь перейдем к процедуре восстановления криптограммы, применяя открытый ключ не легального пользователя к тому же шифру $q3 = 692$. Для решения этой задачи криптоаналитику придется решать следующее биквадратное уравнение

$$692^2 = (676 - b^2)^2 + (52b)^2$$

относительно b и найти то же значение $b = 4$ и делать вывод, что $m_1 = D$. Таким же путем он восстановит остальную часть криптограммы $q3$.

Очевидно, рассматриваемый пример является лишь демонстрацией идеи приложения диофантовых уравнений в области криптографии. Также очевидно, что указанная модель криптосистемы (6) далека от практического приложения, т. к. многие аспекты прикладной криптографии здесь опущены ради реализации идеи К. Шеннона [1].

Заключение

Изучается вопрос разработки математических моделей алфавитных криптосистем в виде кортежа, в которых в качестве алфавита чаще всего выступает либо алфавит некоторого естественного языка (например, английского), либо некоторый числовой алфавит (например, двоичный алфавит) или, например, поле Галуа $\mathbf{GF}(p)$, состоящее из p элементов и т. п.

Изучены некоторые простые примеры моделей алфавитных криптосистем (всего пять), причем для реализации алгоритмов шифрования и дешифрования почти всегда рассматривается изоморфный к заданному алфавиту числовой алфавит из натуральных чисел. Среди указанных примеров особое место занимает математическая модель алфавитной асимметричной криптосистемы с проверкой на модификацию исходного сообщения, содержащей диофантовы трудности.

Литература

1. *Shannon C.* Communication theory of secrecy systems // *Bell System Techn. J.* – 1949. – 28, № 4 – P. 656–715.
2. Основы криптографии. 2-е изд. / *А.П. Алферов, А.Ю. Зубов, А.С. Кузьмин, А.В. Черемушкин.* – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 480 с.
3. *Иванов М.А.* Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях. – М.: Кудиц-Образ, 2001. – 363 с.
4. *Матиясевич Ю.В.* Диофантовы множества // *Успехи мат. наук.* – 1972. – Т. 27, вып. 5. – С. 185–222.
5. *Осипян В.О.* Моделирование систем защиты информации, содержащих диофантовы трудности. Разработка методов решений многостепенных систем диофантовых уравнений. Разработка нестандартных рюкзаковых криптосистем: Монография. – LAP, 2012. – 344 с.
6. *Саломая А.* Криптография с открытым ключом. – М.: Мир, 1995. – 318 с.
7. *Серпинский В.* О решении уравнений в целых числах. – М.: ГИФ-МЛ, 1961. – 88 с.
8. *Серпинский В.* 100 простых, но одновременно и трудных вопросов арифметики. – М.: 1961. – 76 с.
9. *Шнайер Б.* Прикладная криптография: Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си: Пер. с англ. – М.: Триумф, 2002. – 816 с.
10. *Cassels J.W.S.* On a Diophantine Equation // *Acta Arithmetica.* – 1960. – 6. – P. 47–52.
11. *Carmichael R.D.* The Theory of Numbers and Diophantine Analysis. – New York, 1959. – 118 p.
12. *Dickson L.E.* History of the Theory of Numbers. Vol. 2. Diophantine Analysis. – N.Y., 1971.
13. *Gurari E.M., Ibarra O.H.* An NP-complete number theoretic problem, Proc.10th Ann. ACM. Symp. On Theory of computing. – New York, 1978. – P. 205–215.
14. *Koblitz N.* A Course in Number Theory and Cryptography. – New York: Springer-Verlag, 1987. – 235 p.
15. *Lin C.H., Chang C.C., Lee R.C.T.* A new public-key cipher system based upon the Diophantine equations // *IEEE Transactions on Computers.* – Jan 1995. – Vol. 44, Iss. 1.
16. *Mordell L.J.* Diophantine equations. – London – New York: Acad. Press, 1969. – 312 p.
17. *Osipyany V.O.* Buiding of alphabetic data protection cryptosystems on the base of equal power knapsacks with Diophantine problems ACM. – 2012. – P. 124–129.
18. *Osipyany V.O.* Mathematical modelling of cryptosystems based on Diophantine problem with gamma superposition method // *SIN '15 Proceedings of the 8th International Conference on Security of Information and Networks ACM.* – 2015. – P 338–341.
19. *Sierpinski W.* Elementary Theory of Numbers. – New York: Hafner Publishing Company, 1964. – 480 p.

УДК 004:656

А.Н. Полетайкин

*Кубанский государственный университет,
Краснодар, 350040
e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА АВТОМОБИЛЯ ПО ПРИНЦИПУ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА

В статье представлено модельное обеспечение информационной технологии планирования оптимального маршрута следования автомобиля, поставляющего продовольственные товары в пункты розничной торговли. Задача представляется как последовательный объезд множества пунктов розничной торговли по принципу задачи коммивояжера. Для решения задачи применяется метод генетических алгоритмов.

Ключевые слова: маршрут следования, задача коммивояжера, генетические алгоритмы, субоптимальное решение.

A.N. Poletaykin

*Kuban State University,
Krasnodar, 350040
e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

GENETIC ALGORITHM FOR OPTIMAL CAR ROUTE ON THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM PRINCIPLE

The information technology planning model of the optimal car route by supplying food products to retail outlets is presented in the article. The problem is presented as a sequential detour of many points of retail trade on the principle of the traveling salesman problem. The method of genetic algorithms is used to solve the problem.

Key words: itinerary of travel, travelling salesman problem, genetic algorithms, suboptimal decision.

Одним из основных бизнес-процессов компании, занимающейся оптовой торговлей продовольственными товарами, является поставка товаров заказчиком. В качестве заказчиков выступают как мелкие торговые сети, не имеющие собственных производственных мощностей и транспортной службы доставки, так и разнообразные частные магазины, относящиеся к классу малого бизнеса. Поэтому списочный состав пунктов доставки каждый день является уникальным и может содержать до сотни пунктов в разных концах города. В таких условиях определить оптимальный маршрут следования автомобиля доставки оказывается весьма затруднительно, и даже опытный водитель, хорошо знающий улично-дорожную сеть города, может решить эту задачу далеко не самым оптимальным образом. Поэтому актуальной задачей является разработка инструмента на основе математической модели построения оптимального маршрута. Причем, поскольку на маршруте следования каждый пункт доставки должен быть посещен только один раз, данную задачу уместно свести к известной задаче коммивояжера.

Суть задачи коммивояжера (ЗК) заключается в следующем. Имеется N пунктов следования (ПС), расстояния между которыми известны. Путешественник (или коммивояжер) должен посетить каждый из базового набора ПС по одному разу и вернуться к исходной точке. Известна стоимость (время) перемещения из одного ПС в другой. Необходимо составить маршрут, чтобы сумма затраченных средств (времени) была минимальной. Поисковое пространство для ЗК – множество из N пунктов. Любая комбинация из N пунктов, которые не повторяются, является решением. Оптимальное решение – такая комбинация, стоимость которой является минимальной. Существуют строгие ограничения на последовательность, и количество ПС может быть очень большим.

Задача коммивояжера была отнесена к NP-полным задачам, т. е. не решаемым полным перебором за полиномиальное время. Алгоритмическая сложность симметричной задачи коммивояжера с n ПС составляет $(n-1)!/2$. Соответственно, уже для 30 ПС поиск оптимального пути

представляет собой сложную задачу, практически неразрешимую методом полного перебора и побудившую развитие различных новых методов, в том числе нейросетей и генетических алгоритмов. Каждый вариант решения – это числовая строка, где на j -м месте стоит номер j -го по порядку обхода города. Таким образом, в этой задаче N параметров (N – число ПС), причем не все комбинации значений допустимы.

Один из распространенных способов решения ЗК основан на методе градиентного спуска. При этом вначале выбираются некоторые случайные значения параметров, а затем эти значения постепенно изменяют, добиваясь наибольшей скорости роста целевой функции. Достигнув локального максимума, такой алгоритм останавливается, поэтому для поиска глобального оптимума потребуются дополнительные усилия. Градиентные методы работают очень быстро, но не гарантируют оптимальности найденного решения. Они идеальны для применения в так называемых унимодальных задачах, где целевая функция имеет единственный локальный максимум (он же глобальный). Легко видеть, что ЗК унимодальной не является.

Типичная практическая задача, как правило, мультимодальна и многомерна. Для таких задач не существует ни одного универсального метода, который позволял бы достаточно быстро найти точное решение. Однако, комбинируя переборный и градиентный методы, можно надеяться получить хотя бы приближенное решение, точность которого будет возрастать при увеличении времени расчета. Генетический алгоритм представляет собой именно такой комбинированный метод. Механизмы скрещивания и мутации в некотором смысле реализуют переборную часть метода, а отбор лучших решений – градиентный спуск. По сути рассматривается непрерывная многопараметрическая задача непрерывной оптимизации, где $f(x)$ – максимизируемая (целевая) скалярная многопараметрическая функция, которая может быть не определена вне допустимой области, а внутри допустимой области иметь несколько глобальных экстремумов; D – область поиска; x – вектор, кодирующий решения задачи:

$$\max f(x), \quad x \in D, \quad D = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_N) \mid x_i \in [a_i, b_i], i = \overline{1, N}\}. \quad (1)$$

Предполагается, что о функции $f(x)$ известно лишь то, что она определена в любой точке области D . Никакая дополнительная информация о характере функции и ее свойствах не учитывается в процессе поиска. Исходя из предположения о возможной многоэкстремальности $f(x)$, оптимальное решение может быть не единственным [1]. Преимущество ГА состоит в нахождении множества субоптимальных решений за относительно короткое время.

Под решением задачи будем понимать маршрут, формально представляемый вектором $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$. Оптимальным маршрутом будем считать вектор x^* , при котором целевая функция $f(x)$ принимает максимальное значение. Исходя из предположения о возможной многоэкстремальности $f(x)$, оптимальное решение может быть не единственным.

Маршрутом будем называть последовательность неповторяющихся городов, уникально закодированных кодом Грея, как это описано в [2]. Там же для решения ЗК предложен порядковый способ представления маршрута в ГА. Маршрут представлен последовательностью из n ПС, i -м элементом которой является значение позиции следующего города в упорядоченном списке городов от позиции i до $n - i - 1$. Основное преимущество порядкового представления в том, что к нему применим практически любой оператор кроссовера. Любые два маршрута в порядковом представлении, обрезанные на любой позиции и склеенные вместе, породят два потомка, каждый из которых будет правильным маршрутом.

Для всех вариантов решения ЗК при помощи ГА минимальный размер популяции может быть определен по формуле [1]:

$$L^* = k\sqrt{N * R}, \quad (2)$$

где N – число ПС,

R – площадь зоны развоза товаров в относительных единицах,

k – эмпирическая константа (приблизительно равна 0,765).

Классическая постановка задачи на поиск оптимального маршрута в ЗК состоит в минимизации целевой функции, построенной по критерию затраченных средств либо времени на основе знания стоимости/времени перемещения из одного пункта в другой. В нашем случае в качестве основного критерия целесообразно использовать расчетное время проезда из одного ПС

в другой. При этом расчет производится на основании данных о состоянии улично-дорожной сети, в т. ч. погодных условий и интенсивности транспортных потоков. Выражение для расчета целевой функции:

$$F^* = \sum_{i=1}^{N-1} T_{ri}, \quad F^* \rightarrow \min, \quad (3)$$

где T_{ri} – расчетное время проезда между i -м и $(i + 1)$ -м ПС,

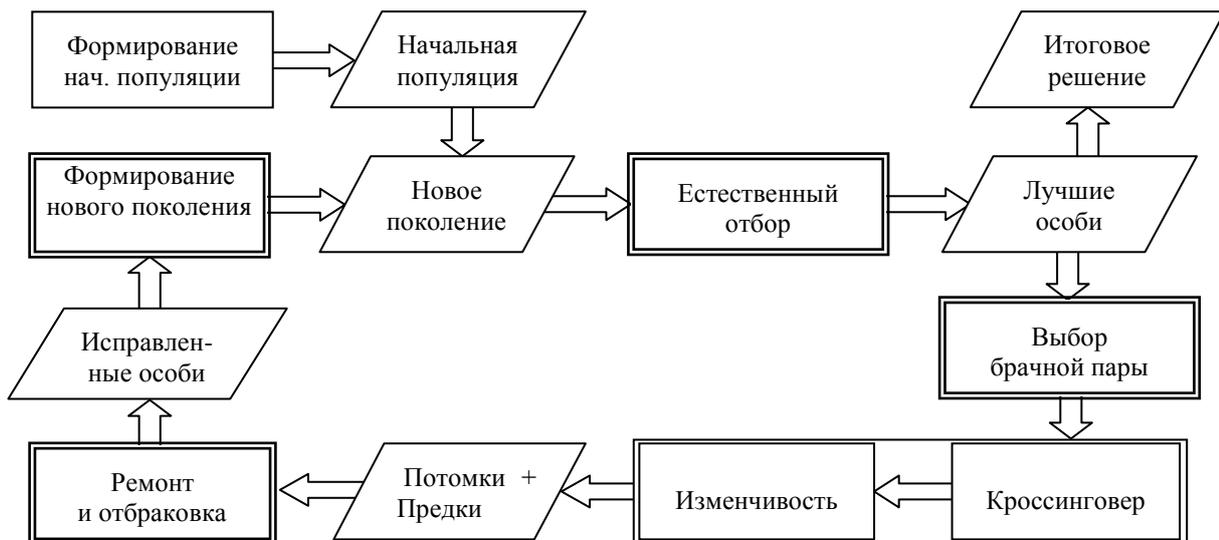
N – число ПС на маршруте следования.

Для кодирования маршрута используется часть хромосомы фиксированной длины $4N$. Каждый пункт кодируется в соответствии с его уникальным идентификатором, переведенным в код Грея. Поскольку маршрут может быть различной длины, то есть состоять из произвольного количества пунктов не более N , предлагается производить кодирование в соответствии со следующим правилом: начальный и конечный пункты, представленные одним ПС прибытия/убытия, располагаются в первой и последней тетраде хромосомы, а остальные тетрады подстраиваются слева направо, неиспользованные тетрады заполнены нулями. Для кодирования маршрута как последовательности ПС используется естественное путевое представление с учетом допустимости движения между ними.

Поскольку в задаче развоза товаров существует лишь один начальный/конечный пункт, для повышения надежности данного генетического аппарата целесообразно на каждом поколении отслеживать достоверность начального и конечного ПС и при повреждении проводить их восстановление. Вся процедура кодирования построена по тетрадному принципу, то есть разрядность кодирования любой величины всегда кратна четырем. Это сделано для удобства представления данных кодов в виде кодов Грея.

Для реализации ГА используется классическая схема (см. рисунок) с такими параметрами:

- псевдослучайная генерация начальной популяции (с выдерживанием ограничений, накладываемых заданными параметрами, см. выше);
- естественный отбор методом турнирного розыгрыша с высокой размерностью турнирной группы ($n_t = 4$) и коэффициентом редукции 0,7;
- парный оператор кроссинговера;
- использование аутбридинга для образования родительских пар;
- случайный выбор одноточечного и двухточечного кроссинговера и изменчивости;
- ремонт испорченных хромосом (не соответствующих заданным параметрам) посредством направленных мутаций;
- формирование нового поколения методом элитного отбора.



Итерационный процесс функционирования генетического алгоритма

Веб-приложение, реализующее данную модель, написано на языке C#. Работа программы представлена страницей, позволяющей имитировать поступление исходных данных по расчетному времени проезда в виде матрицы смежности и провести поиск набора из десяти оптималь-

ных решений (маршрутов следования) для автомобиля. Выбор окончательного варианта маршрута предоставляется оператору. Окончательное решение в виде последовательности ПС направляется водителю.

Пример матрицы смежности для 14 ПС, относящихся к улично-дорожной сети г. Краснодара, включая исходный и конечный пункт, представлен в таблице, где ПС №0 – это база транспортного средства, осуществляющего развоз товаров в пункты розничной продажи. Следует заметить, что матрица не является симметричной, так как в силу особенностей улично-дорожной сети не всегда возможен проезд одним и тем же путем от одного ПС к другому.

Пример матрицы смежности, содержащей расчетное время проезда между пунктами следования в условиях улично-дорожной сети г. Краснодара, мин

| № ПС | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | 5 | 14 | 14 | 12 | 16 | 14 | 14 | 19 | 9 | 12 | 6 | 7 | 8 | 12 |
| 1 | 5 | 0 | 8 | 8 | 7 | 11 | 9 | 9 | 18 | 4 | 8 | 2 | 7 | 8 | 11 |
| 2 | 13 | 8 | 0 | 0 | 6 | 8 | 6 | 7 | 19 | 4 | 15 | 11 | 16 | 17 | 19 |
| 3 | 13 | 8 | 0 | 0 | 6 | 8 | 6 | 7 | 19 | 4 | 15 | 11 | 16 | 17 | 19 |
| 4 | 12 | 7 | 6 | 6 | 0 | 6 | 4 | 9 | 20 | 3 | 15 | 9 | 14 | 15 | 17 |
| 5 | 14 | 9 | 6 | 6 | 5 | 0 | 1 | 12 | 20 | 4 | 11 | 11 | 14 | 14 | 17 |
| 6 | 12 | 7 | 5 | 5 | 3 | 6 | 0 | 12 | 23 | 3 | 12 | 10 | 12 | 13 | 15 |
| 7 | 15 | 10 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 0 | 14 | 12 | 16 | 19 | 21 | 22 | 24 |
| 8 | 19 | 20 | 19 | 19 | 20 | 17 | 19 | 14 | 0 | 22 | 12 | 21 | 16 | 17 | 19 |
| 9 | 9 | 4 | 5 | 5 | 3 | 6 | 5 | 12 | 22 | 0 | 12 | 6 | 11 | 12 | 15 |
| 10 | 12 | 9 | 16 | 16 | 15 | 10 | 12 | 17 | 12 | 13 | 0 | 11 | 9 | 10 | 12 |
| 11 | 5 | 4 | 12 | 12 | 11 | 15 | 13 | 20 | 18 | 8 | 11 | 0 | 6 | 7 | 11 |
| 12 | 5 | 6 | 15 | 15 | 13 | 13 | 15 | 20 | 17 | 10 | 12 | 6 | 0 | 1 | 9 |
| 13 | 6 | 7 | 16 | 16 | 14 | 13 | 15 | 20 | 17 | 11 | 9 | 7 | 1 | 0 | 9 |
| 14 | 11 | 12 | 20 | 20 | 19 | 18 | 19 | 24 | 20 | 16 | 12 | 12 | 7 | 6 | 0 |

Начальные параметры ГА:

- мощность популяции, рассчитанная по формуле (2) – 100 особей;
- число поколений принято равным 20;
- вероятность кроссинговера – 0,9;
- вероятность операторов изменчивости – 0,05.

Поиск решения при принятых начальных условиях на машине с процессором Intel Core i5-7500 3,40 GHz, RAM 8,00 GB под управлением операционной системы Windows 10 занимает не более 1 секунды. Оптимальный маршрут на представленных исходных данных (по номерам ПС): 0, 14, 12, 13, 10, 8, 7, 5, 6, 4, 2, 3, 9, 1, 11, 0. Суммарное время движения по маршруту, рассчитанное в соответствии с выражением (3) на данных из таблицы, составляет 90 минут.

Также был проведен эксперимент с числом ПС более 50. Работа программы составила около трех секунд, притом что решение задачи, имеющей факториальную сложность, методом полного перебора является практически невозможным. Таким образом, налицо высокая эффективность решения сложной задачи относительно простым комбинаторным способом.

Данная модель построения оптимального маршрута может быть использована и на море при условии, что ПС располагаются не вдоль одной береговой линии, а разбросаны на некоторой площади, например в условиях архипелага или залива.

Литература

1. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы / Под ред. В.М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.
2. *Батищев Д.И., Исаев С.А.* Оптимизация многоэкстремальных функций с помощью генетических алгоритмов // Высокие технологии в технике, медицине и образовании: Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж: ВГТУ, 1997. – С. 4–17.

УДК 004.94:621.952

А.Г. Татьянченко

Донецкий национальный технический университет,

Донецк, 283000

e-mail: sopromat@fimm.donntu.org

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Разработана комбинированная имитационная математическая модель формирования теплового баланса и развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий осевым инструментом. В основу положены параметрические (с варьируемыми параметрами) конечно-элементные модели осевого инструмента и детали, созданные на основе языка программирования APDL в среде комплекса МКЭ ANSYS. Для моделирования динамики развития процессов в реальном масштабе времени разработана управляющая программа, интегрированная в комплекс МКЭ, позволяющая представить непрерывный процесс тепловыделения в виде множества дискретных положений теплового источника по мере обработки отверстия. На основе разработанной модели исследованы особенности развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий осевым инструментом.

Ключевые слова: имитационная модель, тепловой баланс, первичные и вторичные тепловые потоки, управляющая программа.

A.G. Tatyanchenko

Donetsk National Technical University,

Donetsk, 283000

e-mail: sopromat@fimm.donntu.org

THERMAL PROCESSES SIMULATION IN HOLE-FINISHING OPERATION WITH THE AXIAL TOOL

The combined simulation mathematical model of thermal balance formation and thermal processes development at hole-finishing operation with the axial tool is developed. It is based on parametric (with variable parameters) finite-element models of the axial tool and parts created on the basis of the programming language APDL in the environment of the FEM ANSYS complex. To simulate the processes dynamics in real time, a control program integrated into the FEM complex has been developed, which allows to present a continuous process of heat release in the form of numerous discrete positions of the heat source as hole processing progresses. On the basis of the developed model the features of thermal processes development in hole-finishing operation with the axial tool are investigated.

Key words: simulation model, heat balance, primary and secondary heat flows, control program.

Введение

Тепловые процессы, происходящие при чистовой обработке отверстия осевым инструментом, особенно при врезании и выходе инструмента, являются характерным примером неустановившегося теплообмена. Вследствие этого продольный профиль отверстия после развертывания и зенкерования имеет характерную бочкообразную форму [1, 2]. Уменьшение режимов резания и использование СОЖ не исправляет эту погрешность вследствие локальности зоны развития термоупругих деформаций и краевых эффектов в начале и конце обработки. Наиболее перспективным способом устранения погрешностей продольного профиля отверстия считается управление режимами резания, а вместе с тем и тепловыми процессами, по глубине отверстия [3]. Поэтому в настоящее время важное теоретическое и практическое значение имеет задача развития теории прогнозирования температуры в зоне резания в условиях неустановившегося теплообмена по мере обработки отверстия при развертывании и зенкерования. Решение этой задачи в аналитической форме невозможно ввиду сложности геометрии детали и инструмента и граничных условий, а использование термомеханических моделей не всегда оправдано. В работе [4] в качестве механизма перераспределения тепла между контактными поверхностями и установления теплового баланса в зоне резания предложено использовать модель «третьего тела». Эта модель

позволяет исследовать характер формирования теплового баланса в условиях неустановившегося теплообмена на основе стандартных пакетов МКЭ, таких как ANSYS, без использования термомеханических моделей. В данной работе поставлена задача разработки и апробации комбинированной математической модели, позволяющей объединить в единой модели преимущества аналитического и численного методов при моделировании тепловых процессов при чистовой лезвийной обработке отверстия.

Описание математической модели вторичного теплообмена

Анализ особенностей развития тепловых и термомеханических процессов при чистовой обработке отверстий осевым инструментом показал, что основными проблемами при решении поставленной задачи являются:

- моделирование процесса теплопередачи от более нагретой контактной поверхности к менее нагретой,
- моделирование процесса движения теплового источника вдоль отверстия;
- динамический характер выравнивания контактных температур;
- извлечение выходных данных из расчетного модуля без остановки его работы.

Для решения всех этих проблем автором была разработана комбинированная математическая модель, в которой в масштабе реального времени на основе расчетного модуля МКЭ ANSYS при помощи внешней управляющей программы непрерывный процесс тепловыделения в зоне резания по мере обработки отверстия представлялся в виде дискретного приложения тепловых источников к контактным поверхностям инструмента и детали для n положений.

В этой модели теплопередача от более нагретой поверхности к менее нагретой и определение вторичных тепловых потоков моделировались при помощи модели «третьего тела» [4]. Непрерывное поступательное движение теплового источника вдоль оси отверстия представлялось в виде последовательного дискретного приложения тепловых источников для n положений. Количество положений теплового источника не ограничивалось. Выравнивание контактных температур производилось итерационным методом последовательных приближений в пределах одного шага без нарушения временной шкалы и без выхода из решателя.

Общая управляющая программа была интегрирована в решатель МКЭ при помощи единой вычислительной программы, написанной на языке программирования APDL (внутренний язык пакета МКЭ ANSYS), совместимом с языком FORTRAN. За счет использования различных средств программирования, доступных в этом языке, все текущие результаты расчетов аккумулировались в матрицах результатов по мере пошагового моделирования при помощи оператора *Get без выхода из решателя МКЭ. На рис. 1 представлена блок-схема разработанной математической модели распределения и перераспределения первичных и вторичных тепловых потоков при неустановившемся теплообмене.



Рис. 1. Управляющая блок-схема комбинированной модели тепловых процессов в зоне резания при чистовой обработке отверстия в условиях неустановившегося теплообмена

В основном расчетном блоке МКЭ механизм вторичного теплообмена был реализован на основе параметрических математических тепловых моделей различных конструкций осевого инструмента и осесимметричной детали в виде цилиндрической втулки. Главные отличительные особенности этих моделей:

- все исходные данные, включая геометрические параметры детали и инструмента, теплофизические свойства материалов, параметры режимов резания, задание параметров точности расчета и параметры конечно-элементных моделей, были заданы в параметрической форме, то есть в виде переменных, ввод или изменение которых был доступен или из программы (по умолчанию) или извне (при запуске программы);

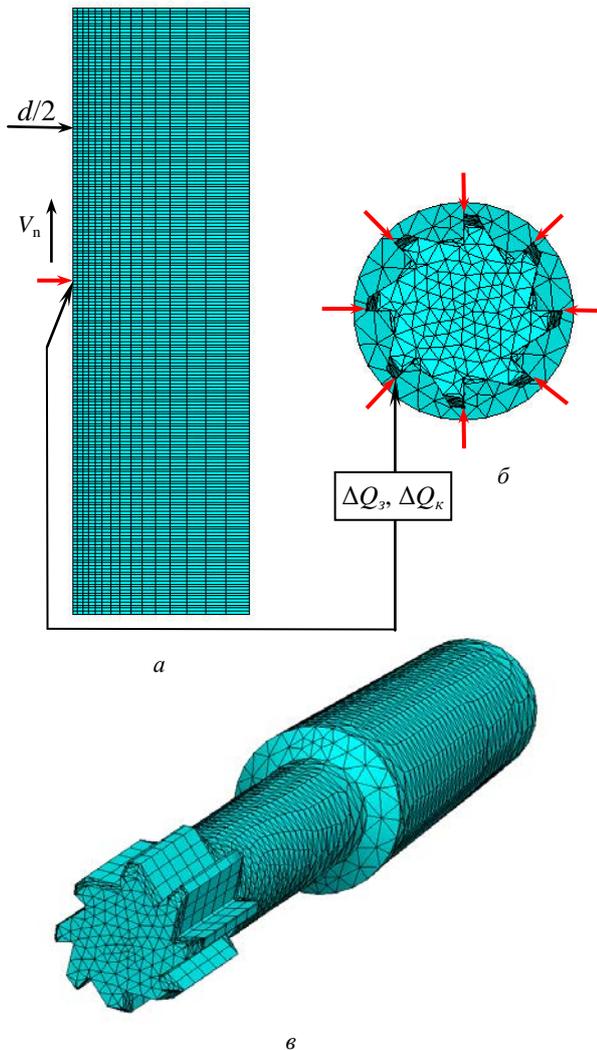


Рис. 2. Условия контактного взаимодействия конечно-элементных тепловых моделей:
 а) модель детали (половина продольного сечения);
 б) модель инструмента (вид с торца);
 в) конечно-элементная модель развертки

на каждом шаге расчета предполагалось, что величина первичных тепловых потоков, направленных в инструмент и деталь, определяемые известными зависимостями [5], является постоянной по всей глубине отверстия, а величина вторичных тепловых потоков является переменной, но при этом не изменяет величину суммарного тепловыделения. Величина вторичных тепловых потоков по задней поверхности ΔQ_z и калибрующей ленточке ΔQ_k на каждом шаге теплового нагружения определялась методом последовательных приближений.

Основными выходными параметрами расчета являлись зависимость изменения температуры в зоне резания и вторичных тепловых потоков по глубине отверстия.

- в решателе были предусмотрены «окна» (локальные остановки программы без выключения решателя), позволяющие в случае необходимости отслеживать или корректировать ход решения;

- конечно-элементные модели осевого инструмента и детали (рис. 2) существовали в едином пространстве и времени без контакта между собой (условия контактного взаимодействия с использованием модели «третьего тела» на основе зависимостей [4] контролировались и корректировались управляющей программой). Такой подход позволил существенно повысить скорость расчета и, как следствие, за счет увеличения густоты сетки – точность результатов;

- рассматриваемая деталь в силу своей осесимметричности представлялась в виде прямоугольника (половины продольного сечения) с указанием в решателе соответствующих опций осесимметричного тела;

- для детали тепловые источники представлялись в виде единого эквивалентного кольцевого теплового источника интенсивностью $q_{эке}$ (рис. 2, а), движущегося вдоль оси отверстия со скоростью подачи V_n , для инструмента – в виде постоянно действующих z (число зубьев инструмента) тепловых источников переменной интенсивности, приложенных в контактных зонах на задних поверхностях зубьев и калибрующих ленточек (рис. 2, б).

Расчет температурного состояния в модели осуществляется пошагово. В пределах каждого шага был задействован итерационный механизм переопределения реальных тепловых потоков в инструмент и деталь из условия равенства температур в контактных зонах. На

Процесс движения теплового источника представлялся в виде дискретного процесса последовательного приложения теплового источника к поверхности детали для n положений:

$$n = \frac{L}{t} \tan \varphi, \quad (1)$$

где L – глубина отверстия;

t – глубина резания;

φ – главный угол в плане.

Время обработки отверстия:

$$T = \frac{L}{V_n} = \frac{\pi d L}{S V}, \quad (2)$$

где S – подача,

V – скорость резания.

Время функционирования теплового источника для одного положения:

$$t_n = \frac{T}{n} = \frac{\pi d t}{S V \tan \varphi}. \quad (3)$$

Все операции моделирования согласно блок-схеме 1, включая управляющую программу, создание параметрических твердотельных и конечно-элементных моделей, пошаговое моделирование тепловых процессов, решение конечно-элементных задач, осуществлялось без использования GUI (графический интерфейс пользователя) и управляющего меню *Utility menu*. Все команды, характерные для этих меню, были вставлены в виде операторов в управляющую программу.

Основные результаты исследований неустановившегося теплообмена

На основе предложенной комбинированной математической модели неустановившегося теплообмена при чистовой обработке отверстий с использованием программы на языке APDL были исследованы тепловые процессы для различных условий развертывания и зенкерования. На рис. 3 в качестве примера показан характер изменения температуры на вершине режущих кромок развертки при развертывании отверстия $d = 16$ мм и $L = 50$ мм в цилиндрической втулке из стали 45.

Для всех рассмотренных случаев были характерны преимущественно односторонняя направленность вторичных тепловых потоков из более нагретого инструмента в деталь, значительное снижение температуры инструмента и некоторое повышение температуры детали. В конце отверстия за счет граничных эффектов температура детали повышалась более интенсивно, что приводило в некоторых случаях к изменению направления вторичных тепловых потоков в инструмент. При этом для инструмента диаграммы изменения температур с учетом вторичного теплообмена по глубине отверстия изменяются кардинально (рис. 3), а для детали практически сохраняет прежнюю форму.

В целом температура в зоне резания с учетом вторичного теплообмена во всех случаях оказалась близкой к аналогичной температуре детали от действия только первичных тепловых потоков. Это связано с тем, что деталь обладает более высокой по сравнению с инструментом массовой теплоемкостью.

Проведенные численные исследования вторичного теплообмена позволили определить величину и направленность вторичных тепловых потоков в деталь и инструмент по мере обработки отверстия. Так, при развертывании величина суммарного теплового потока в деталь за счет вторичного теплообмена в зависимости от режимов резания увеличивалась от 8 до 20%. Наиболее существенное влияние вторичных тепловых потоков на

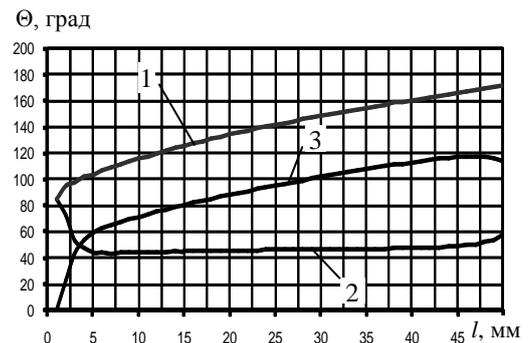


Рис. 3. Изменение температуры инструмента по глубине отверстия при развертывании ($V = 6,3$ м/мин, $S = 0,8$ мм/об):

1 – без учета вторичного теплообмена;

2 – с учетом вторичного теплообмена;

3 – изменение температуры за счет вторичного теплообмена

блюдалось при малых скоростях резания и подачах. При зенкерованиях влияние вторичных тепловых потоков не превышало 3–5%. Изменение величины тепловых потоков в инструмент было более значительным. Так, при развертывании уменьшение суммарного теплового потока в инструмент по задней поверхности достигало 65%, а по калибрующей ленточке – 85%. При зенкерованиях уменьшение суммарного теплового потока в инструмент по задней поверхности достигало 76%. По калибрующей ленточке при зенкерованиях за счет вторичных тепловых потоков суммарные тепловые потоки изменяли не только величину, но и направленность.

В расчетных конечно-элементных моделях важным является вопрос адекватности полученных результатов вследствие замены сплошного массива детали дискретными конечными элементами и нелинейности теплофизических свойств обрабатываемого материала. Анализ результатов проведенных исследований показал, что учет температурной зависимости свойств материалов при температурах, характерных для чистовой обработки отверстий, не оказывает влияния на точность определения температуры, а густота конечно-элементной модели не влияет на параметры зоны интенсивного нагрева, определяющей температурные деформации детали.

Таким образом, в работе был предложен и реализован алгоритм комбинированного моделирования вторичного теплообмена между инструментом и деталью в зоне резания при обработке отверстий осевым инструментом на основе конечно-элементных моделей с динамическим перепределением граничных условий в процессе обработки. Реализация алгоритма осуществлялась в реальном масштабе времени, что позволило максимально приблизить условия численного и натурного моделирования. Уровень допущений, принятых при формировании комбинированных математических моделей позволил получать достаточно адекватные данные о характере распределения температур.

Выводы

1. Предложенный алгоритм создания комбинированных моделей формирования теплового баланса в зоне резания с использованием управляющих программ для стандартных расчетных комплексов МКЭ является эффективной заменой термомеханических моделей, по сравнению с которыми он не требует много времени расчета, использует доступные объективные исходные данные и позволяет получать наглядные и адекватные результаты как в процессе расчета, так и по его окончании.
2. Описание комбинированной модели в виде единой программы, включающей в себя управляющие программы и все этапы конечно-элементного моделирования в виде параметрических моделей, позволяет создавать программный продукт для исследования тепловых процессов для типовых конструкций инструмента и детали не только при чистовой обработке отверстий, но и для других видов лезвийной обработки.

Литература

1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Татьяначенко А.Г. Влияние термоупругих деформаций на точность продольного профиля отверстия при чистовой лезвийной обработке // Наукові праці Донецького технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 110. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 42–48.
3. Татьяначенко А.Г., Мальшико И.А., Сурженко А.Н. Развитие методов прогнозирования продольного профиля отверстия при чистовой обработке осевым инструментом // Сборник научных работ ДонНТУ. Серия «Машиностроение». Вып. 10. – Донецк, 2013. – С. 47–54.
4. Татьяначенко А.Г. Физические основы формирования теплового баланса при чистовой обработке отверстий осевым инструментом // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 4(63). – С. 112–121.
5. Силин С.С. Метод подобия при резании металлов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.

УДК 004.5:669.02

Н.А. Ченцов, С.Л. Сулейманов

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283000
e-mail: stassl@mail.ua*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ РОСТА ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИЗНОСОМ ДЕТАЛИ

Разработана модель роста, ориентированная на аппроксимацию функций, определяемых процессом износа детали. Параметры модели отражают физические свойства описываемого процесса на стадиях приработки и ускоренного износа.

Ключевые слова: модель роста, техническое состояние, процесс износа, приработка, ускоренный износ.

N.A. Chentsov, S.L. Sulejmanov

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283000
e-mail: lstassl@mail.ua*

GROWTH MODEL UTILIZATION FOR THE APPROXIMATION OF FUNCTIONS DETERMINATED BY PART WEAR

The growth model oriented to the approximation of functions determined by part wear process is developed. Model parameters reflect physical properties of the given process at the run-in and accelerated wear stages.

Key words: growth model, technical state, wear process, run-in, accelerated wear.

Постановка проблемы

Прогнозирование срока отказа детали на основе данных о ее техническом состоянии (ТС) Y предполагает использование различных функций, где Y может быть аргументом или откликом. Упрощение формального подхода к исследованию поведения функции на стадиях приработки и ускоренного износа требует использования параметров, отражающих физические характеристики процесса изменения Y .

Анализ последних исследований и публикаций

Одним из показателей эффективности обслуживания оборудования является выполнение упреждающих ремонтных воздействий, когда Y детали максимально приближаются к ее предельному состоянию $Y_{\text{пр}}$ [1–4]. Для решения этой задачи используются различные виды моделей, используемых для прогнозирования срока отказа детали [5]. Типовые методы решения задачи прогнозирования сроков отказа при эксплуатации оборудования изложены в стандарте [6]. Стандарт «распространяется на изделия любых видов техники, для которых предусматривают и решают задачи прогнозирования безотказности и обработки статистических данных об отказах на различных стадиях их жизненного цикла...».

В общем случае износ происходит в соответствии с типовой кривой изнашивания (рис. 1, *a*) [7].

На рис. 1, *a* изнашивания можно выделить характерные участки: I – приработки; II – нормальной работы; III – * ускоренного износа. Первая производная от функции износа, представленная на рис. 1, *б*, отражает скорость изменения ТС во времени.

Для описания функций используются полиномы различных степеней, степенные функции, модели роста и др. [8–9]. Недостатком таких моделей является отсутствие связи их параметров с физическими характеристиками процесса изменения Y детали.

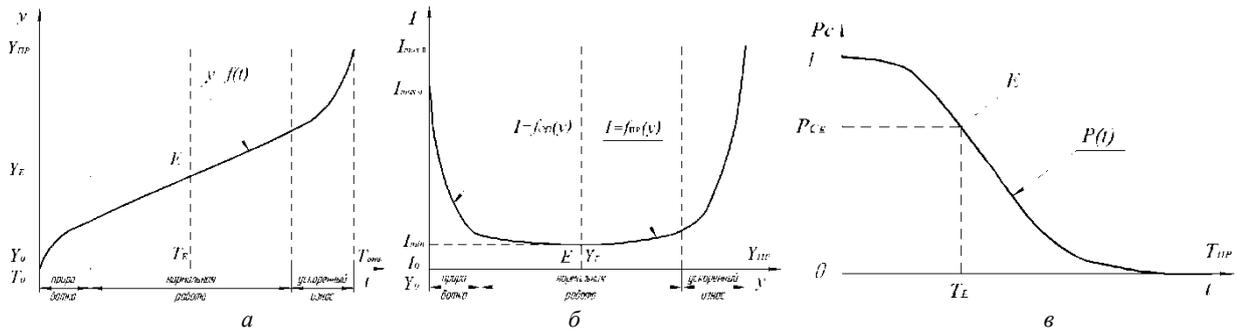


Рис. 1. Функции, определяемые износом детали:
 а – техническое состояние детали, б – интенсивность износа детали, в – остаточный ресурс

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является разработка модели роста, где: значение отклика монотонно растет или падает, а ее параметры характеризуют физические показатели процесса на стадиях приработки и ускоренного износа. Должно быть обеспечено использование модели роста для функций, описывающих изменения: ТС детали, интенсивность износа, остаточного ресурса.

Основной материал исследования

Анализ поведения функций показывает, что в точке E перегиба (экстремума) они делятся на две части, в рамках которых интенсивность ее изменения только падает или растет.

Для описания частей функции может быть использована модель роста, параметры которой носят физический смысл. Использование модели роста при исследовании причин низкого ресурса детали на стадии ее эксплуатации позволяет: формализовать исследование процесса изменения ТС детали и выявить причины ее низкого ресурса; построить имитационную модель детали оборудования, обеспечивающую управление изменением ее ТС.

Таким образом, особенностью рассмотренных функций является наличие двух частей, каждой из которых соответствует собственная модель роста. В поведении функций можно выделить особенности:

- функция должна проходить через характерные точки: 0 – состояние новой детали, E – точка перегиба (экстремума) функции; P – предельное состояние детали. Точкой экстремума разделены два укрупненных участка: начальный ($0...E$), где происходит приработка детали; конечный ($E...P$) – где происходит ее ускоренный износ;
- в рамках участка функция должна иметь неизменный знак скорости изменения отклика: только отрицательный, что приводит к снижению значения отклика, или только положительный, что приводит к увеличению значения отклика;
- в рамках участка функция должна иметь параметр, отражающий характер K , характеризующий ее кривизну: вогнутость функции при $K < 1$; выпуклость функции при $K > 1$; линейная функция при $K = 1$.

Таким образом, описание функций, связанных с изменением ТС детали в процессе ее эксплуатации, предполагает использование некоторого перечня подобных по поведению элементарных моделей роста. В целом выделено четыре типа элементарных моделей роста, показанных на рис. 1. Формальное представление приведенных элементарных моделей роста предполагает использования для каждой из них собственной математической модели и аппарата для ее параметризации.

В целом функция имеет один экстремум в точке E (минимальное значение интенсивности I_E при некотором значении ТС Y_E), которая делит ее на два участка. На начальном участке, соответствующем новой детали, значение функции монотонно падает (первая производная имеет отрицательное значение). На конечном участке, соответствующем изношенной детали, значение функции монотонно растет (вторая производная имеет положительное значение).

В целом функция имеет один экстремум в точке E (минимальное значение интенсивности I_E при некотором значении ТС Y_E), которая делит ее на два участка. На начальном участке, соответствующем новой детали, значение функции монотонно падает (первая производная имеет отрицательное значение). На конечном участке, соответствующем изношенной детали, значение функции монотонно растет (вторая производная имеет положительное значение).

Учитывая наличие двух участков на функции интенсивности $I = f(y)$ в общем виде она описывается моделью роста:

$$I = I_E - \begin{cases} f_{OP}(y) & \text{при } Y_0 \leq Y \leq Y_E - \text{начальный участок функции} \\ f_{PP}(y) & \text{при } Y_E < Y \leq Y_{PP} - \text{конечный участок функции} \end{cases},$$

где I – значение интенсивности (отклик функции);

I_E – значение интенсивности в точке экстремума;

Y_0 – значение ТС в начальной точке;

Y_E – значение ТС в точке экстремума;

Y_{PP} – значение ТС в конечной точке;

$f_{OP}(Y)$ – элементарная модель роста ОП на начальном участке функции;

$f_{PP}(Y)$ – элементарная модель роста ПР на конечном участке функции.

Элементарные модели роста

| № | Обозначение | Определение | Модель | График | Условия |
|---|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|
| 1 | ПП | отрицательная падающая, где значение отклика уменьшается вначале сильно, а затем медленнее (функция вогнутая) | $I_i = I_K - (Y_K - Y_i) \cdot \frac{I_H - I_K}{Y_H - Y_K} \cdot K^{\frac{Y_i - Y_H}{Y_K - Y_H}}$ | | $K \geq 1$ (выпуклая) |
| 2 | ПР | отрицательная растущая, где значение отклика уменьшается вначале медленно, а затем сильнее (функция выпуклая) | $I_i = I_H - (Y_H - Y_i) \cdot \frac{I_H - I_K}{Y_H - Y_K} \cdot K^{\frac{Y_i - Y_H}{Y_K - Y_H}}$ | | $K \leq 1$ (вогнутая) |
| 3 | ОП | положительная падающая, где значение растет вначале сильно, а затем медленнее (функция выпуклая) | $I_i = I_K - (Y_K - Y_i) \cdot \frac{I_H - I_K}{Y_H - Y_K} \cdot K^{\frac{Y_i - Y_H}{Y_K - Y_H}}$ | | $K \leq 1$ (вогнутая) |
| 4 | ОР | положительная растущая, где значение растет вначале медленно, а затем сильнее (функция вогнутая) | $I_i = I_H - (Y_H - Y_i) \cdot \frac{I_H - I_K}{Y_H - Y_K} \cdot K^{\frac{Y_i - Y_H}{Y_K - Y_H}}$ | | $K \geq 1$ (выпуклая) |

Модель роста включает использование следующих элементарных моделей роста в случае:

- функции износа детали – модели положительная падающая и положительная растущая;
- функции интенсивности износа – модели отрицательная падающая и положительная растущая;
- функции остаточного ресурса – модели отрицательная растущая и отрицательная падающая.

Выводы

1. Разработана модель роста, состоящая из двух частей, каждая из которых описывает участок функции, где первая либо вторая производная не меняет знак.
2. Для описания частей функции предложено четыре элементарных модели роста: отрицательная падающая; отрицательная растущая; положительная падающая; положительная растущая.
3. Параметры элементарных прогнозных моделей отражают физические характеристики процесса.

Литература

1. *Табакон П.А., Соломашкин А.А.* Определение допускаемого износа замененных деталей // *Международный научный журнал*. – 2011. – № 3. – С. 77–80.
2. Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТОиР) механического оборудования предприятий системы Министерства черной металлургии СССР. – Тула: ВНИИО-чермет, 1983. – 389 с.
3. Об утверждении Положения о техническом обслуживании оборудования предприятий горно-металлургического: Приказ Министерства промышленной политики Украины № 285 от 15.06.2004
4. *Ловчиновский Э.В.* Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта предприятий / *Российская академия наук. Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова. Лаб. № 35. Сектор «Управление техническим обслуживанием оборудования предприятий»*. – М., 2006. – 385 с.
5. *Кіяновський М.В., Бондар О.В.* Шляхи забезпечення працездатності стаціонарних гірничих машин // *Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць*. – Кривий Ріг, 2011. – Вип. 29 – С. 165–168.
6. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения [Действует с 2011-01-01] – М.: Стандартинформ, 2009. – 12 с.
7. *Попеско А.И., Ступин А.В., Чесноков С.А.* Износ технологических машин и оборудования при оценке их рыночной стоимости: Учебное пособие. – М.: ООО «Российское общество оценщиков», 2002. – 241 с.
8. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. Книга 1. В 2-х кн. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 366 с.
9. *Дрейпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. Книга 2. В 2-х кн. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 353 с.

СЕКЦИЯ 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 331.453

Д.П. Азаренков¹, С.В. Рогатых²

¹ *Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, 683002;*

² *Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга,
Петропавловск-Камчатский, 683032
e-mail: rogarykhsv@yandex.ru*

МЕТОД РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕКОТОРЫХ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Неотъемлемым элементом экономики являются развитые социально-трудовые отношения в сфере охраны труда, направленные на защиту жизни и здоровья работников, предотвращение несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, минимизацию их социальных и экономических последствий. В представленной статье показан метод расчетов влияния вредных производственных факторов условий труда на организм человека, работающего на сварочных работах.

Ключевые слова: специальная оценка условий труда, сварочные работы, аттестация, физико-химические факторы.

D.P. Azarenkov¹, S.V. Rogatykh²

¹ *Research Geotechnological Centre Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002;*

² *Kamchatka State University named after Vitus Bering,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683032
e-mail: rogarykhsv@yandex.ru*

THE TIME CALCULATING METHOD OF SOME HARMFUL FACTORS IMPACT ON HUMAN BODY

An integral part of the economy are developed social and labor relations in the field of labor protection, aimed to protect employee life and health, to prevent industrial accidents and occupational diseases and to minimize their social and economic consequences. The calculating method of harmful production factors influence on the human body working at welding works is shown.

Key words: special assessment of working conditions, welding works, certification, physical and chemical factors.

Создание социально ориентированной рыночной экономики согласно Конституции Российской Федерации является одной из главных целей осуществляемой в России трансформации экономики. Важнейшим неотъемлемым элементом такой экономики являются развитые социально-трудовые отношения в сфере охраны труда, направленные на защиту жизни и здоровья работников, предотвращение несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, минимизацию их социальных и экономических последствий [1].

В этих условиях формирование и внедрение рыночной модели охраны труда в виде социально приемлемой социальной защиты наемного труда возможны только с позиций строгой научности механизмов реализации государственных требований с учетом критического анализа имеющегося российского опыта и рационального использования опыта стран с развитой рыночной экономикой, а также общепризнанных требований международных трудовых норм и стандартов. Однако общий концептуальный подход к определению путей целенаправленного формирования социально-трудовых отношений в сфере охраны труда, отражающий российскую модель социально-экономического развития, все еще окончательно не сформирован и кодифицированно не изложен. Не определены до конца и основные принципы и методы государствен-

ного регулирования социально-трудовых отношений в сфере охраны труда в современных условиях тотального экономического кризиса и федеративного устройства России [2].

Одним из методологических принципов регулирования социально-трудовых отношений в сфере охраны труда являлась аттестация рабочих мест, а в настоящий момент – специальная оценка условий труда (СОУТ). При этом популярность данной процедуры в нашей стране растет. Среди современных исследований по данной теме можно назвать труды таких авторов, как А.Я. Кибанов, Ю.К. Балашов, Д.П. Леонтьева, М.Н. Полещук, А.А. Черных, М.В. Виниченко и др. [3–6]. Данные авторы рассматривают теоретические и отраслевые основы аттестации и СОУТ.

Целью нашего исследования является оценка влияния факторов условий труда на человека с целью установления устойчивости к внешним воздействиям, возникающим в результате работы на сварочном производстве. Для достижения цели необходимо выполнить следующую задачу – обосновать применение критерия фактически отработанного времени с тем или иным вредным производственным фактором.

Современное технологическое производство не может существовать без такого технологического процесса, как сварочные работы. Проведение данных работ сопровождается образованием агрессивных физико-химических факторов, которые негативно воздействуют на окружающую среду и организм людей, находящихся под воздействием данных факторов. При проведении сварочных работ контролируются следующие факторы:

- физические (электромагнитное поле; ультрафиолетовое излучение; параметры микроклимата: температура, скорость движения воздуха, влажность, ТНС-индекс; шум; локальная вибрация; концентрация аэрозолей преимущественно фиброгенного действия: Fe_2O_3 , Mn , SiO_2 и т. д.);
- химические: оксид углерода CO , диоксид азота NO_2 , озон O_3 .

Воздействие данных факторов негативно влияет на организм человека и окружающую среду, они способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию профессиональных заболеваний, которые также могут воздействовать не только на организм самого работника, но и на его репродуктивную функцию и здоровье последующих поколений.

Концентрация в окружающей среде вредных веществ зависит от материала и типа электродов, которые используют при сварочных работах. Работа в должности сварщика относится к льготной профессии, которая дает работнику права на получения льготной досрочной пенсии.

Согласно ст. 3 Федерального закона «О специальной оценке условий труда» № 426-ФЗ от 28.12.2013 г. «...специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников. По результатам проведения специальной оценки условий труда устанавливаются классы (подклассы) условий труда на рабочих местах» [7].

В соответствии с требованиями данных документов аттестация и методика на рабочих местах проводилась с учетом хронометрирования, что не может быть актуальным, так как во время проведения хронометража работники стараются создать максимально вредные условия труда. Поэтому актуальней проводить СОУТ, используя фактически отработанное время с тем или иным вредным производственным фактором, оценка по данному критерию позволит выяснить действительное воздействие вредных условий труда на работников.

Во время проведения СОУТ, как правило, используется метод опроса или проведения хронометража на рабочем месте. При опросе большинство занятых людей уверяют проверяющего о своей 100%-ной занятости. При хронометрировании работники также выполняют сверх своих повседневных обязанностей, тем самым завышая свое непосредственное участие в производимых работах. Однако нашей целью является точное определение времени воздействия на организм работающего вредных производственных факторов. В соответствии с требованиями бухгалтерской отчетности и учета на каждом предприятии ведется документация о приобретенных и используемых материальных ценностях. К данным факторам относится и применение электродов.

Для определения воздействия временного фактора сварочных аэрозолей на организм человека нами запрашивались сведения из материально-технического отдела каждого предприятия

о приобретенных и используемых электродах за текущий год и прошедшие четыре года, которые были нам необходимы для оценки воздействия в динамике. Все электроды имеют разное время сгорания, поэтому необходимо провести измерения времени сгорания и массу каждого типа электрода, который используется на данном предприятии. При невозможности взвешивания одного электрода можно использовать техническую документацию на данный тип, в которой указаны масса, длина и прочие параметры.

Определив используемые типы электродов на данном предприятии, необходимо произвести измерения физико-химических факторов (измерения химического состава воздуха и аэрозоля преимущественно фиброгенного действия (АПФД) во время сжигания) по каждому типу электродов. Используя полученную информацию из материально-технического отдела об общем списании электродов за три года, необходимо рассчитать время воздействия (среднегодовое и ежедневное) на основе данных, полученных во время проведения измерений.

При проведении измерений необходимо использовать нормальные условия эксплуатации сварочного оборудования, не применяя оптимальных и экстремальных условий для его использования.

Например, предприятие использует для своей работы электроды УОНИ 13/55 и МР-3. Масса электрода УОНИ 13/55 составляет примерно 70 г, МР-3 – 65 г. Предприятием за 2017 г. было использовано УОНИ 210 кг и МР-3 70 кг, за 2016 г. – 200 кг УОНИ и 80 кг МР-3, за 2018 г. (с января по июнь включительно) – УОНИ 90 кг, МР-3 30 кг. Это показывает занятость сварщиков по используемым электродам в динамике за три года постоянно. Можно судить, что занятость работника не меняется.

Приступаем к расчетам – при проведении измерений физико-химических факторов, воздействующих на организм человека при проведении сварочных работ (концентрации угарного газа, диоксида азота, озона, АПФД, интенсивности ультрафиолетового и электромагнитного излучения), установлено, что за 2017 г. сварщик отработал 247 дней (1 973 часа). Один электрод МР-3 сгорает 2 мин 20 с, УОНИ – 2 мин 40 с. Расчет показывает: $210 \cdot (1\ 000 / 70) = 3\ 000$ электродов использовано за год. $3\ 000 \cdot 2,20 / 60 = 110$ часов рабочего времени потрачено сварщиком на использование 210 кг электродов за 2017 г. Также проводит расчет для МР-3: $70 \cdot (1\ 000 / 65) = 1\ 077$ электродов использовано за год. $1\ 077 \cdot 2,4 / 60 \approx 43$ часа потрачено сварщиков на использование 70 кг электродов за 2017 г.

Итого 153 часа (110 + 43) – это время воздействия физико-химических факторов на организм сварщика в год, что в процентном соотношении составляет примерно 13% от общего рабочего времени. Соответственно, при данном времени сварочных работ за год работник не имеет права на получение льготной пенсии, а также предоставление всех прочих компенсаций, выдаваемых ранее за исключением тех случаях, если концентрации не вышли за пределы ПДК при расчете эквивалента фактора в соотношении с ПДК.

Вывод. В связи с недостоверностью проведенных опросов и хронометражей, необходимо проводить вышеуказанные расчеты на каждом рабочем месте. Если сварщиком выполняются работы на открытой территории либо в замкнутых пространствах, это также необходимо учитывать при расчете на время воздействия физико-химических факторов. Процент занятости на таких работах необходимо рассчитать, используя наряды-допуски на данные работы.

Такую систему расчетов возможно применять также для проведения специальной оценки условий труда в разных отраслях и на разных рабочих местах, учитывая особенности выполняемых работ (например, работа водителя – использовать данные системы ГЛОНАСС, работа маляров – учитывать объем используемых лакокрасочных изделий и т. д.).

Литература

1. *Файнбург Г.З.* Использование научной методологии охраны труда в целях совершенствования ее практики // Охрана и экономика труда. – 2015. – № 3 (20). – С. 8–15.
2. *Файнбург Г.З.* О некоторых пока еще не решенных проблемах управления охраной труда и профессиональными рисками // Безопасность и охрана труда. – 2012. – № 3. – С. 11–16.
3. *Балашов Ю.К.* Оценка персонала – основа кадровой политики зарубежных фирм // Кадры предприятия. – 2012. – № 9. – С. 23–28.
4. *Кибанов А.Я.* Управление персоналом организации. – М.: ИНФА-М, 2011. – 695 с.
5. *Леонтьева Д.П.* Современные методы проведения оценки и аттестации персонала в организации // Вестник СамГУПС. – 2016. – № 1 (31). – С. 123–127.

6. *Полещук М.Н.* Развивающая аттестация как инструмент повышения конкурдации персонала в отношении развития угледобывающего предприятия // Крымский научный вестник. – 2015. – № 4–1. – С. 226.

7. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ (ред. от 01.05.2016) // Собрание законодательства РФ. – 30.12.2013 – № 52 (часть I). – Ст. 6991.

УДК 622.625.6

В.О. Гутаревич, Е.Л. Игнаткина

Донецкий национальный технический университет,

Донецк, 283001

e-mail: sel_post@mail.ru

**ОБЩИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ
К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ
ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГОЙ**

В работе рассмотрены общие логистические подходы к формированию процесса перевозки грузов подвесной монорельсовой дорогой, характерные для горных предприятий. Составлен план грузопотоков горного предприятия, при котором весь груз вывозится из пунктов отправления и поступает потребителям, а транспортные издержки минимальны.

Ключевые слова: логистические подходы, перевозка грузов, подвесная монорельсовая дорога, транспортные издержки.

V.O. Gutarevich, E.L. Ignatkina

Donetsk National Technical University,

Donetsk, 283001

e-mail: sel_post@mail.ru

**GENERAL LOGISTICAL APPROACHES TO CARGO TRANSPORTATION PROCESS
FORMATION WITH MONORAIL**

The general logistical approaches to cargo transportation process formation with monorail which is typical for mining companies are enumerated. The plan of mining company cargo flows is drawn up due to which all cargo is exported from the points of departure and arrives to consumers with minimal transport costs.

Key words: logistic approaches, cargo transportation, monorail, transport costs.

Одной из логистических проблем, существующей на горных предприятиях, является обеспечение производственного процесса всем необходимым, в нужном количестве и с минимальными затратами. Шахты, как и любое другое горное предприятие, находятся в начале формирования материальных потоков и, как участники цепи управления поставкой продукции, одновременно сами являются потребителями, поскольку для производственного процесса нужны энергия, технические и трудовые ресурсы [1, 2].

Следует отметить, что добываемый уголь считается готовой продукцией, если он отправляется без обогащения для электростанций или населению для отопления, а также и сырьем для обогатительных фабрик или коксохимзаводов. В качестве готовой продукции могут быть также калийные удобрения или пищевая соль. Следовательно, выходной поток шахт формируется из готовой продукции или сырья, а удельный вес готовой продукции в выходном потоке может составлять какую-то долю и определяется свойствами полезного ископаемого.

Входящие материальные потоки, в отличие от выходящих, практически полностью формируются из готовой продукции. Удельный вес входящих потоков зависит от горно-геологических условий и технологии добычи полезного ископаемого. Ориентировочно для угольных предприятий на 1 000 т угля перевозится 1,4 т оборудования, 0,3 т эмульсии, 0,4 т глины, песка и инертной пыли.

В пределах логистической системы горного предприятия циркулируют основные потоки, относящиеся к основной продукции (полезное ископаемое) и вспомогательные потоки, обеспечивающие функционирование основного производства. По направлению движения эти потоки могут быть встречными или попутными. Такое разделение позволяет устанавливать объемы перевозимых грузов и планировать грузопотоки в зависимости от изменчивости горно-геологических и горно-технических условий.

Поскольку горно-технические условия работы шахт постоянно меняются, то особенностью логистических систем шахт является то, что основные грузопотоки динамичны и непостоянны в количественном и качественном отношениях. Однако процесс их функционирования носит повторяющийся периодический характер, протекающий в несколько этапов. Каждый этап включает планирование, функционирование, их оценку для установления соответствия между планируемыми и фактическими грузопотоками.

Планирование грузопотоков в логистической системе горных предприятий основывается на установлении необходимого объема и маршрутов перевозок. Для моделирования подобных систем в логистике целесообразно использовать так называемую транспортную задачу линейного программирования и ее модификации [3, 4].

В общем случае процесс перевозки вспомогательных материалов или людей можно представить в виде схемы, приведенной на рисунке.

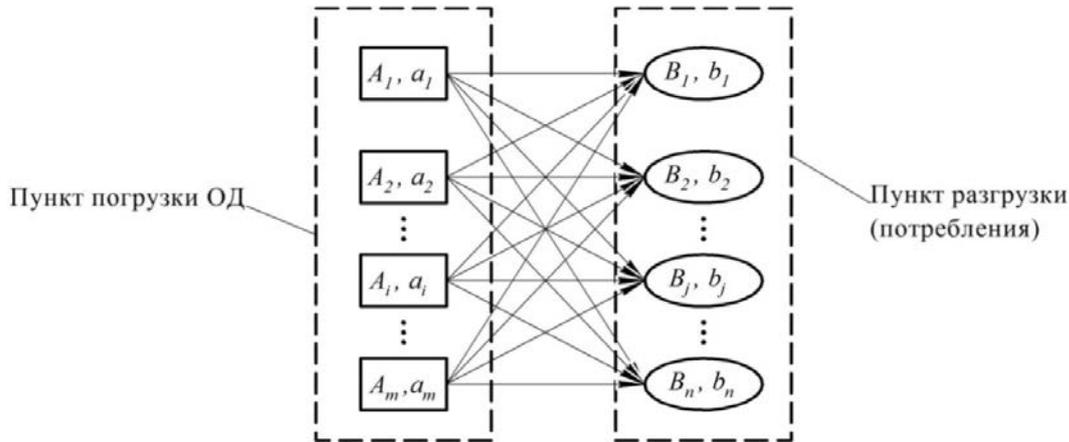


Схема грузопотоков подвесных монорельсовых дорог между пунктами погрузки и разгрузки (потребления)

Согласно схеме в m пунктах A_1, A_2, \dots, A_m производится погрузка на уровне околоствольного двора. Количество грузов в пункте A_i составляет a_i единиц, где $i = 1, 2, 3, \dots, m$. Все это необходимо доставить потребителям в n пункты B_1, B_2, \dots, B_n . В каждом пункте B_j объем потребления составляет b_j единиц, где $j = 1, 2, 3, \dots, n$. Затраты по перевозке 1 т груза от пункта A_i в пункт B_j обозначим C_{ij} и представим в виде

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix}.$$

Требуется составить такой план грузопотоков логистической системы горного предприятия, при котором весь груз вывозится из пунктов отправления, поступает потребителям, транспортные издержки минимальны. Грузопоток, перемещаемый из пункта A_i в пункт B_j , принимаем равным X_{ij} . Необходимо установить значение грузопотока $X_{ij} \geq 0$, перемещаемого от i -го пункта околоствольного двора до j -го пункта назначения так, чтобы

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = a_i, \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = b_j, \text{ где } j = 1, 2, 3, \dots, n;$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min.$$

Необходимое и достаточное условие решения данной задачи может быть записано как

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Если это условие выполняется, то решение транспортной задачи называют закрытым, а если нет – открытым.

Когда

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_j^n b_j ,$$

то определяют, какому получателю и какое количество грузов необходимо оставить с учетом минимума транспортных расходов. В противном случае устанавливают, кто из получателей и в каком количестве должен недополучить груз.

В настоящее время разработано достаточно много методов решения подобных задач, позволяющих определять оптимальные варианты транспортно-технологических систем подвешного монорельсового транспорта.

Следует отметить, что рассматриваемая математическая модель грузопотоков является довольно простой и используется для транспортно-технологических систем с применением бесперегрузочных перевозок, которые считаются перспективными, но еще не нашли широкого распространения в горной промышленности. Однако эта модель служит основой для создания более сложных транспортно-технологических схем логистических систем, относящихся к перевозкам несколькими видами транспорта.

Литература

1. Транспортно-складська логістика гірничих підприємств: Навч. посіб. / В.О. Будішевський та ін.; ред. В.О. Будішевський, Л.Н. Ширін. – Дніпропетровськ: Нац. гірничий ун-т, 2010. – 433 с.
2. Транспортно-технологічна логістика енергоємних виробництв: Навч. посіб. / В.О. Будішевський та ін.; ред. В.О. Будішевський, А.О. Суліма. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2003. – 302 с.
3. Модели и методы теории логистики / В.С. Лукинский и др.; под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2008. – 448 с.
4. *Николайчук В.Е.* Транспортно-складская логистика. – М.: Дашков и Ко, 2011. – 452 с.

УДК 005.591.6:621.892:621.431

Е.М. Деревцов, Г.П. Кича

*Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
Владивосток, 690003
e-mail: emd-73@mail.ru*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШТАТНОГО СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Целью данной работы являются инновационные предложения по применению в судовых условиях комплекса по регенерации и восстановлению отработанных моторных масел и дальнейшему использованию по назначению. Для более эффективной работы комплекса рекомендуется использовать на заключительном этапе переработки ОММ вакуумно-термический испаритель циклонного типа РУМС-1 и, соответственно, рассмотреть процессы, происходящие при работе комплекса.

Ключевые слова: моторное масло, ресурсосберегающее маслоиспользование, отработанное масло, регенерированное восстановленное масло, влияние масла на состояние двигателя, эксплуатационные испытания дизеля.

E.M. Derevtsov, G.P. Kicha

*Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok, 690003
e-mail: emd-73@mail.ru*

PROCESS REGULARITIES ON WASTE ENGINE OIL REGENERATION USING STANDARD SHIP EQUIPMENT

The innovative proposals to apply a complex of regeneration and recovery of waste engine oils and its further use for the intended purpose in ship's conditions are presented in the article. For more efficient operation of the complex it is recommended to use a vacuum thermal typecyclone evaporator РУМС-1 at final stage of waste engine oil processing and to analyze the processes during the complex operation.

Key words: engine oil, resource saving oil use, waste oil, recovered oil, oil effect on engine condition, diesel engine driving test.

Проблема повторного использования на судах отработанных моторных масел (ММ) обусловлена необходимостью экономии энергетических ресурсов и снижения экологического давления на окружающую среду. Сбор, переработка и утилизация отработанных масел на судах является весьма актуальной задачей, решение которой может быть нацелено на регенерацию и повторное использование отработанных смазочных материалов.

Эта концепция базируется на признании того, что ММ является одним из важнейших элементов обеспечения работоспособности и надежности дизеля и обладает теми же свойствами ремонтпригодности, что и другие конструктивные элементы двигателя. Полное восстановление эксплуатационных свойств масла возможно при регенерации и может условно рассматриваться как его капитальный ремонт. При этом все операции по его регенерации и восстановлению качества (потребительских свойств), выполненное на местах потребления ММ, можно рассматривать как операцию технического обслуживания и текущего ремонта.

Весьма заманчивым является идея не только регенерировать ММ на судах, но и восстановить их моторные свойства за счет ввода многофункциональных присадок. При этом желательна «мягкая» регенерация масла, чтобы при удалении вредных веществ (продуктов старения) частично сохранить полезные свойства, обусловленные несработавшимися присадками. Такую регенерацию ОММ на судне может обеспечить комплекс по регенерации и восстановлению отработанных моторных масел, состоящий из судового штатного оборудования и компактной вакуумно-термической регенерационной установки циклонного типа РУМС-1 [1].

С целью регенерации и восстановления в составе данного комплекса можно использовать штатное судовое оборудование:

- цистерны для сбора и отстоя отработанного моторного масла;
- масляные системы, в состав которых входят фильтры: магнитные, тонкой и грубой очистки, подогреватели;
- центробежные сепараторы, применяемые для очистки используемого масла;
- центрифуги для удаления более мелких нерастворимых частиц.

И далее ко всему этому оборудованию в состав комплекса по регенерации и восстановлению включается непосредственно сама мобильная вакуум-термическая установка циклонного типа и оборудование по введению присадок для доведения регенерированного масла до уровня товарного.

Проведены лабораторные испытания и сравнительный анализ с товарным моторным маслом непосредственно отработанного и полученного после прохождения комплекса мероприятий регенерированного и восстановленного моторного масла, используемого на судах. Полученные их физико-химические показатели сведены в таблице. Их анализ позволил заключить, что предложенная технология дает возможность полностью восстановить параметры отработанного масла до уровня товарного.

Физико-химические свойства сравниваемых масел идентифицированы по всем основным показателям, это говорит о том, что регенерированное и восстановленное масло пригодно к применению как товарное.

Незначительно повышенная зольность, коллоидное загрязнение и кислотность восстановленного продукта по сравнению с базовым обусловлена достигаемым пределом удаления дисперсной нерастворимой фазы при сепарировании отработанного масла.

Физико-химические показатели масел

| Показатели | Отработанное | Регенерированное и восстановленное | Свежее масло М-10-Г ₂ (цс) |
|-------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Вязкость кинематическая при 100°С, мм ² /с | 9,8 | 10,3 | 10,4 |
| Щелочность, мг КОН/г | 4,3 | 9,2 | 9,0 |
| Кислотность, мг КОН/г | 2,1 | 0,7 | 0,4 |
| Зольность, % | 2,0 | 1,6 | 1,5 |
| Содержание нерастворимых в бензине (НРБ) примесей, % | 2,6 | 0,31 | 0,14 |
| Содержание воды, % | 0,5 | отс. | отс. |
| Температура вспышки в открытом тигле, °С | 182 | 210 | 220 |
| Коллоидное загрязнение, % | 3,1 | 0,36 | 0,20 |
| Массовая доля активных элементов присадок, %: | | | |
| кальция | 0,090 | 0,32 | 0,28 |
| цинка | 0,020 | 0,05 | 0,04 |
| фосфора | 0,015 | 0,04 | 0,03 |

Нормативным документом, на основании которого можно считать пригодным для повторного использования регенерированное и восстановленное моторное масло является ГОСТ 351634-2000, учитывающий все показатели качества товарного масла, такие как вязкость, плотность, температура вспышки и застывания, щелочное и кислотное число, предельно допустимая концентрация примесей и воды. Моторные масла, не соответствующие ГОСТу, подлежат выбраковке и в дальнейшем идут на регенерацию и восстановление [11, 12].

Физико-химические процессы, происходящие при работе комплекса по регенерации и восстановлению отработанных моторных масел в судовых условиях, более подробно описаны по каждому оборудованию, входящему в состав комплекса в работе [5].

Исходя из вышесказанного, для доведения до рабочего состояния отработанного моторного масла в судовых условиях используется комплекс, в состав которого, кроме судового штатного оборудования, включена вакуумно-термическая установка циклонного типа, позволяющая удалять все загрязнения, поступающие в процессе эксплуатации, до предельно допустимых концентраций.

В заключение можно подвести итог: описание работы комплекса по регенерации и восстановлению отработанного моторного масла сводится к элементарным математическим зависимо-

стям, позволяющим иметь представление о работе всего комплекса в целом и эффективно применять данный способ на судах отечественного и зарубежного флота.

Литература

1. Тарасов В.В., Кича Г.П., Деревцов Е.М. Целесообразность применения в судовых дизелях регенерированных и восстановленных отработанных моторных масел // Тезисы докладов V Международного Балтийского морского форума. V Международная научная конференция «Морская техника и технология. Безопасность морской индустрии», 21–27 мая 2017. – Калининград: БГАРФ, 2017. – Часть 1. – 222 с.
2. Тарасов В.В., Кулямов В.В., Деревцов Е.М. Основные теоретические закономерности процессов регенерации отработанных моторных масел с использованием штатного судового оборудования // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока: Научное издание. – 2017. – № 1–2. – С. 74–81.
3. Тарасов В.В., Патенкова Е.П., Деревцов Е.М. Определение параметров ведения процесса регенерации отработанного моторного масла с помощью циклонного вакуум-термического испарителя // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока: Научное издание. – 2017. – № 1–2. – С. 81–86.
4. Кича Г.П., Тарасов В.В., Деревцов Е.М. Эффективность применения в судовых дизелях регенерированных восстановленных отработанных моторных масел // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока: Научное издание. – 2016. – № 1–2. – С. 83–91; № 3–4. – С. 108–116.
5. Кича Г.П., Тарасов В.В., Деревцов Е.М. Результаты эксплуатационных сравнительных испытаний в судовом форсированном дизеле регенерированного и товарного моторных масел // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе: Журнал / Всероссийский научно-исследовательский институт организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности. – М., 2016. – Декабрь.
6. Тарасов В.В., Кулямов П.В., Деревцов Е.М. Организация процесса двухстадийного удаления фракций воды и топлива из отработанного моторного масла // Вестник Морского государственного университета. Выпуск 74. Серия Судостроение и судоремонт: Сб. науч. тр. – Владивосток: Морской гос. ун-т, 2016.
7. Тарасов В.В., Тарасов В.В., Кулямов П.В. Принципиальная схема установки по регенерации отработанного моторного масла в судовых условиях // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 2. – С. 175–179.
8. Тарасов В.В., Кича Г.П. и др. Научные ответы на вызовы современности: техника и технологии: Монография. – Одесса: Куприенко С.В., 2016. – 177 с.
9. Кича Г.П., Перминов Б.Н., Надежкин А.В. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: Монография. – Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-та, 2011. – 372 с.
10. Тарасов В.В. Оценка эффективности использования регенерированного моторного масла в судовых дизелях // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 146–152.
11. Сафонов А.С., Ушаков А.И., Гришин В.В. Химмотология горюче-смазочных материалов. – СПб.: НППКЦ, 2007. – 488 с.
12. Савицкий Н.М. Регенерация отработанных масел // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 9. – С. 56–59.

УДК 622.276:663.6

Г.О. Заляева, М.М. Голубенко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: lenarza@mail.ru, maxgolubenko@gmail.com*

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ РОЗЛИВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ

Приведена методика определения показателей эксплуатационной надежности оборудования, входящего в технологическую линию розлива минеральной воды. Разработан алгоритм исследования и определены основные этапы проведения расчета.

Ключевые слова: надежность; технологическая линия; закон распределения; вероятность безотказной работы; наработка на отказ; статистические методы расчета.

G.O. Zalyaeva, M.M. Golubenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: lenarza@mail.ru, maxgolubenko@gmail.com*

OPERATIONAL RELIABILITY EVALUATION OF MINERAL WATER BOTTLING TECHNOLOGICAL LINE

The technique of equipment maintainability indicators determining which is included in the mineral water bottling technological line is given. An algorithm for research has been developed and the main stages of the calculation have been determined.

Key words: reliability, technological line, law of distribution, probability of no-failure operation, mean time between failures, statistical methods of calculation.

В настоящее время все чаще возникает вопрос о надежности технологического оборудования. Есть надежность, закладываемая при конструировании, обусловленная особенностями конструкции, применяемыми материалами и т. п. В процессе эксплуатации на надежность влияет вид выпускаемой продукции, климатические условия в месте эксплуатации, квалификация персонала, эксплуатирующего оборудование. В связи с этим необходимо вносить корректировки в планы технического обслуживания, так как оборудование не способно отработать заявленный заводом-изготовителем срок и зачастую выходит из строя раньше установленного, приводя к дополнительным затратам, связанным с ремонтом и простоем технологических линий и создавая аварийные ситуации, которые негативно влияют на производство. Здесь и возникает вопрос об оценке эксплуатационной надежности оборудования.

Эксплуатационная надежность машин (узлов) обуславливается совершенством их конструкции, технологии производства и ремонта, условиями и уровнем их использования. Правильное техническое обслуживание и ремонт машин позволяют поддерживать их эксплуатационную надежность в заданных пределах [1].

Сроки надежной работы машин, как было отмечено ранее, обуславливаются предельными величинами и темпами износа узлов, деталей или периодами нарушения регулировок.

Следовательно, надежность машин зависит от минимального срока безотказной работы какого-либо узла (сопряжения, детали), входящего в данную машину; от надежности, или иначе равностойкости к износу деталей и узлов машины. Чем выше эта равностойкость и чем больше период работы узлов и деталей до предельных величин износа, тем выше эксплуатационная надежность машины.

Рассмотрим оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования на примере технологической линии розлива в ПЭТ-бутылки предприятия АО «Камчатское пиво» (рис. 1).

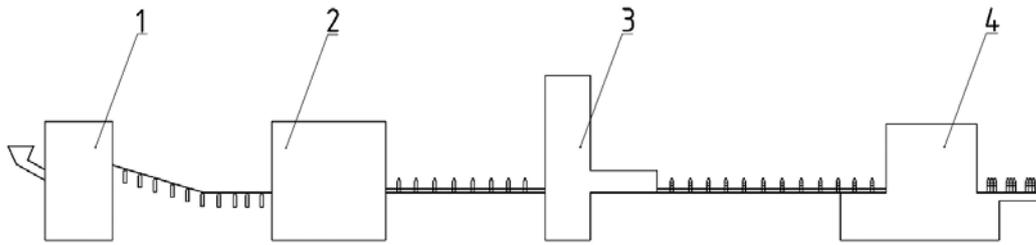


Рис. 1. Схема технологического оборудования:
 1 – автомат для производства ПЭТ-бутылок; 2 – триблок розлива; 3 – этикетировочная головка;
 4 – автоматический упаковочный комплекс

Минеральная вода от скважины до завода доставляется по трубопроводу. Затем она проходит несколько стадий очистки: фильтры разной структуры и облучение инфракрасным излучением.

Для розлива продукции используются бутылки, полученные из разогретых преформ методом вытяжки и двухстадийного раздува в автомате для выдува ПЭТ-бутылок 1. В месте выхода бутылок из автомата стоит оператор, который следит за качеством выдутых бутылок, изымая бракованные с технологической линии [2].

Затем бутылки поступают в триблок розлива 2. Там они ополаскиваются и наполняются продукцией. Уровень наполнения бутылок контролируется автоматикой с помощью датчиков. После этого бутылки закупориваются крышками. При этом имеется специальное устройство, которое выявляет перевернутые крышки на линии подачи и возвращает их в нужное положение.

Потом бутылки, наполненные продукцией, поступают в этикетировочную головку 3. Там на них одеваются этикетки из термоусадочной пленки и обжимаются с помощью горячего водяного пара. Бракованные этикетки выявляются и убираются с помощью специального устройства, также оснащенного датчиками.

Для упаковки готовые к продаже бутылки поступают в автоматический упаковочный комплекс 4. Там они группируются в блоки по шесть штук. Блоки с продукцией оборачиваются в термоусадочную пленку, с последующей сваркой и обрезкой пленки. При задвигании очередного блока с продукцией в термоусадочную пленку предыдущий обандероленный блок проталкивается в термотоннель для усадки пленки [3].

Общая продолжительность производства одной бутылки от подачи сырья в очистные устройства до получения готовой продукции обычно составляет 3–4 минуты.

Производительность и экономичность работы машин в значительной мере зависят от их эксплуатационной надежности.

Надежность машины (узла) – это ее свойство выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение определенного времени или требуемой наработки.

Данное оборудование находится в работе 8 лет, наступил период постепенных отказов. При оценке надежности оборудования применяется статистический метод: собраны данные о наработках и отказах. Оценка надежности технологического оборудования проводится согласно схеме исследования (рис. 2).

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ | | |
| 1.1 Технологическая схема производства | 1.2. Принцип действия и особенности конструкции машин в линии | 1.3. Технические характеристики применяемого оборудования |
| 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О НАРАБОТКЕ МАШИН В ЛИНИИ | | |
| 3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ | | |
| 3.1. Анализ полученных результатов | 3.2. Анализ причин отказов технологических машин | |
| 4. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН | | |

Рис. 2. Схема проведения исследования

Оценка надежности на основе статистической информации. Оценка надежности технологического оборудования проводится на основе статистических данных, собранных из жур-

налов обслуживания оборудования, включающих в себя наработки и отказы оборудования за весь срок работы.

Технологическая схема производства (рис. 1), принцип действия, особенности конструкции и технические характеристики применяемого оборудования

Автомат для производства ПЭТ-бутылок. Автомат выдувной предназначен для производства ПЭТ-бутылок из разогретых преформ методом вытяжки и двухстадийного раздува в четырехместной пресс-форме. На оборудовании можно изготовить бутылки емкостью до 2,0 л.

Производительность – до 3700 бут/час.
Установленная мощность – 21,25 кВт.

Автоматический упаковочный комплекс. Упаковщик предназначен для оборачивания блока с продукцией в термоусадочную пленку, с последующей сваркой и обрезкой пленки. При задвигании очередного блока с продукцией в термоусадочную пленку предыдущий обандероленный блок проталкивается в термотоннель.

Производительность – до 10 упак/мин.
Установленная мощность – 25,5 кВт.

Триблок розлива. Оборудование должно быть уставлено на ровном и твердом полу. Прочность пола должна соответствовать нагрузке, с учетом массы оборудования. Нельзя устанавливать оборудование в помещениях с повышенной влажностью, более 80%, и температуре ниже 18°C, а также в сильно запыленных помещениях.

Оборудование не приспособлено для работы во взрывоопасной атмосфере – имеется угроза взрыва.

Помещение, в котором будут установлены машины, должно быть снабжено достаточным освещением. В зоне управления и работы требуемое освещение не менее 300 люкс.

Триблок предназначен для ополаскивания бутылок, розлива по ним продукции и закупоривания бутылок.

Производительность – до 3000 бут/час.
Установленная мощность – 8,5 кВт.

Этикетировочная головка. Этикетировочная головка предназначена для нанесения самоклеющихся этикеток на поверхность тары различной формы и размеров в автоматическом режиме. В зависимости от модели этикетировочной головки можно использовать этикетки шириной от 20 мм до 130/250 мм. Благодаря модульной структуре, этикетировочная головка легко адаптируется.

Производительность – максимум 30 шт/мин.
Питающая электросеть – 50–60 Гц; 115/230/240 V.

Определение статистических данных о наработке машин в линии. Статистические данные о наработке машин указаны в таблице.

| Машина | Наработка, ч |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Автомат производства ПЭТ-бутылок | 5568; 5714; 5903; 6142; 6399; 6670; 6962; 7262; 7598; 7948; 8316; 8790 |
| Триблок розлива | 5650; 5878; 6131; 6467; 6810; 7171; 7542; 7920; 8298; 8866 |
| Автоматический упаковочный комплекс | 5743; 6093; 6475; 6882; 7303; 7756; 8209; 8670; 9145; 9723; 10486 |
| Этикетировочная головка | 5675; 5907; 6189; 6478; 6835; 7203; 7585; 8081; 8577 |

Обработка результатов. Методика расчета взята из [4].

Определение показателей надежности технологической линии:

1. Для каждого объекта вычисляется среднее арифметическое значение x_{cp} выборки без учета сомнительных наблюдений:

$$x_{cp} = \sum_{i=1}^n x_i,$$

где x_i – наработка i -го объекта до отказа.

2. Для каждого объекта определяется среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}},$$

где σ – среднеквадратичное отклонение случайной величины.

3. Определяется рекомендуемое число интервалов по формуле:

$$K_i = 1 + 3,321LgN_B,$$

где N_B – количество отказов.

4. Определяется шаг для каждой выборки к числу интервалов:

$$\Delta X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K}.$$

5. Определяются границы интервалов группирования, количество отказов в каждом интервале и вероятность попадания случайной величины в заданный интервал.

6. Определяются середины интервалов группирования по формуле:

$$t_{\text{ср}i} = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}.$$

7. Определяется количество отказов $n(t_{\text{ср}i})$, произошедших в каждом интервале к моменту времени $t_{\text{ср}i}$.

Подсчет этих величин производится в следующем порядке:

$$n(t_{\text{ср}i})_1 = \frac{n(\Delta t_i)_1}{2}, \quad n(t_{\text{ср}i})_2 = n(\Delta t_i)_1 + \frac{n(\Delta t_i)_2}{2}, \quad n(t_{\text{ср}i})_3 = n(\Delta t_i)_1 + n(\Delta t_i)_2 + \frac{n(\Delta t_i)_3}{2}, \dots,$$

где 1, 2, 3 ... – порядковые номера интервалов.

8. Определяется количество изделий $N(t_{\text{ср}i})$, работающих исправно к моменту времени $t_{\text{ср}i}$:

$$N(t_{\text{ср}i}) = N(0) - n(t_{\text{ср}i}).$$

9. Определение вероятности безотказной работы:

$$P^*(t_{\text{ср}i}) = \frac{N(t_{\text{ср}i})}{N(0)}.$$

10. Определение интенсивности отказов:

$$\lambda^*(t_{\text{ср}i}) = \frac{n(\Delta t_i)}{N(t_{\text{ср}i}) \cdot \Delta t_i}.$$

11. Определение вероятности отказов:

$$q^*(t_{\text{ср}i}) = \frac{n(t_{\text{ср}i})}{N(0)}.$$

12. Определение частоты отказов:

$$a^*(t_{\text{ср}i}) = \frac{n(\Delta t_i)}{N(0) \Delta t_i}.$$

13. Определение эмпирической плотности распределения:

$$f^*(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N(0) \cdot \Delta t_i}.$$

По результатам расчета графически определяется принадлежность генеральной совокупности к нормальному распределению, распределению Вейбула или логарифмическому. Далее в соответствии с найденным распределением определяется аналитическая зависимость функции. Расчет сводится к поиску значений параметра в табличном массиве по вычисленной величине. После определения аналитической формы теоретической функции распределения определяется зависимость для расчета вероятности безотказной работы и интенсивности отказов.

Анализ полученных результатов, прочих отказов и разработка рекомендаций по повышению надежности технологических машин. По результатам обработанных статистических дан-

ных о наработках машин технологической линии предполагается определить численные значения вероятности безотказной работы оборудования, значения наработок до отказа и суммарную надежность технологической линии. Далее полученные данные будут проанализированы, и выработаны рекомендации по повышению надежности оборудования технологической линии.

Литература

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.
2. *Антипов С.Т. и др.* Машины и аппараты пищевых производств: Учебник для вузов. В 2 т. – М.: Высшая школа, 2001.
3. *Кретов И.Т., Антипов С.Т.* Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности: Учебник. – Воронеж: Изд-во гос. ун-та, 1997. – 624 с.
4. *Быков И.Ю., Ивановский В.Н.* Эксплуатация и ремонт машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов: Учебник. – М.: Центрлитнефтегаз, 2012. – 366 с.

УДК 621.833

Г.О. Заляева¹, А.П. Лебедева²

¹ Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003;

² Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
Хабаровск, 680021

e-mail: lenarza@mail.ru, wellsalena@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Приведена методика определения надежности зубчатой передачи по критерию сопротивления контактной усталости. Даны расчетные зависимости и установлены критерии выбора расчетных коэффициентов нагрузки и коэффициентов вариации.

Ключевые слова: надежность, вероятность безотказной работы, критерий сопротивления контактной усталости, коэффициент нагрузки, коэффициент вариации, квантиль, нормальное распределение.

G.O. Zalyaeva¹, A.P. Lebedeva²

¹ Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003;

² Far Eastern State Transportation University,
Khabarovsk, 680021

e-mail: lenarza@mail.ru, wellsalena@mail.ru

PROBABILITY DEFINITION OF GEAR TRANSMISSION NO-FAILURE OPERATION

The technique of the gear transmission reliability determination by the contact fatigue resistance criterion is given. The calculated dependences are given and the criteria for the choice of design load factors and variation coefficients are established.

Key words: reliability; probability of no-failure operation; contact fatigue resistance criterion; load factor; variation coefficient; quantile; normal distribution.

Надежность машины (агрегата, системы) – это способность в течение установленного времени и при заданных условиях применения выполнять заданные функции в соответствии с назначением. Недостаточная надежность приводит к отказам оборудования, дополнительным затратам на ремонт, простою технологических линий.

Надежность машины закладывается при проектировании и расчете. Основным базовым показателем надежности и безопасности технологического оборудования может служить вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность проведения производственных процессов без происшествий в течение некоторого времени t , т. е. того, что в заданном интервале времени не возникнет отказ этих объектов.

Вероятность безотказной работы зубчатой передачи определяют по двум критериям: по критерию сопротивления контактной усталости и по критерию сопротивления усталости при изгибе. Чаще всего нагрузочная способность зубчатой передачи определяется контактной прочностью, поэтому в данной статье определение вероятности безотказной работы рассматривается только по критерию сопротивления контактной усталости.

Исходными данными для расчета являются: определенное ранее при проектных расчетах зубчатой передачи контактное напряжение σ_H (МПа), материал колеса и шестерни, вид термообработки колеса и шестерни и их твердость.

Вероятность безотказной работы по критерию сопротивления контактной усталости определяют как вероятность того, что действующее контактное напряжение σ_H не превышает предельного значения расчетного параметра $\sigma_{H \text{ lim}}$.

Основной сложностью при таких расчетах является определение расчетных коэффициентов. В существующих методиках расчета надежности, применяемых в учебном процессе, в качестве исходных данных обычно задаются коэффициент внешней нагрузки и коэффициент вариации,

поэтому расчет существенно упрощается, однако анализ технической и нормативной документации, способность самостоятельно оценить и выбрать требуемый параметр, безусловно, важен для будущего инженера.

В работе учтены рекомендации [1] по выполнению расчета надежности.

При определении контактного напряжения σ_H влияние нагрузки согласно [2] учитывается ряд коэффициентов:

$$K = K_A \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\nu},$$

где K_A – коэффициент, учитывающий внешнюю динамическую нагрузку;

$K_{H\nu}$ – коэффициент, учитывающий внутреннюю динамическую нагрузку;

$K_{H\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине контактных линий;

$K_{H\alpha}$ – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями.

Другие параметры, входящие в формулу контактного напряжения, считаются детерминированными величинами. Случайный характер внешней нагрузки при расчете определяется только коэффициентами, учитывающими влияние нагрузки.

Коэффициент внешней нагрузки

Коэффициент внешней динамической нагрузки при равномерном режиме нагружения двигателя, если режим ведомой машины равномерный, равен 1; с малой неравномерностью 1,25; со средней неравномерностью 1,75. При работе двигателя с малой неравномерностью коэффициент умножается на 1,1...1,05; со средней неравномерностью на 1,25...1,15; со значительной неравномерностью на 1,5...1,3 [2]. Режимы нагружения некоторых машин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характерные режимы нагружения ведомых машин

| Режим нагружения | Вид рабочей машины |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Равномерный | Равномерно работающие ленточные, пластинчатые конвейеры, упаковочные машины; перемешивающие устройства и мешалки для веществ с равномерной плотностью |
| С малой неравномерностью | Неравномерно работающие ленточные, пластинчатые конвейеры; шестеренчатые и ротационные насосы; поршневые многоцилиндровые и дозировочные насосы; экструдеры |
| Со средней неравномерностью | Одноцилиндровые поршневые насосы; подъемные машины |
| Со значительной неравномерностью | Тяжелые дозировочные насосы; ротационные буровые машины |

Максимальные значения коэффициентов согласно [2] определяются видом рабочих машин и условиями их эксплуатации (табл. 2).

Таблица 2

| Вид рабочих машин и условия их эксплуатации | K_{Amax} |
|------------------------------------------------------|------------|
| Турбина-генератор при коротком замыкании | До 6 |
| Приводы с асинхронными электродвигателями при пуске | 2,5–5 |
| Лебедки, скребковые транспортеры, фрикционные прессы | 1,5–2,5 |
| Грузоподъемные механизмы подъема | 1,5–2 |
| Грузоподъемные механизмы передвижения | 1,5–4 |
| Транспортеры скребковые | 1,5–2,5 |
| Кривошипно-ползунные и эксцентриковые механизмы | 1,8–3,0 |

Определив предельные значения коэффициента внешней нагрузки K_{Amax} и K_{Amin} , можно установить среднее значение:

$$\bar{K}_A = \frac{(K_{Amax} + K_{Amin})}{2}.$$

Из условия, что поле рассеяния покрывается шестью средними квадратическими отклонениями, определяется коэффициент вариации внешней нагрузки:

$$v_A = \frac{(K_{Amax} - K_{Amin})}{6}.$$

Влияние динамических нагрузок на надежность зубчатых передач велико, особенно в передачах машин общего машиностроения, работающих значительную часть времени с недогрузками и разными частотами вращения. Уточненный расчет среднего значения коэффициента $\bar{K}_{H\omega}$ весьма сложен и представлен в [2], однако можно предложить следующую последовательность:

- проводится проверка на резонансную зону:

| <i>Требуемое условие</i> | <i>Вид зубчатой передачи</i> |
|----------------------------|------------------------------|
| $\frac{v z_1}{1000} < 1$ | Прямозубые передачи |
| $\frac{v z_1}{1000} < 1,4$ | Косозубые передачи |

- определяется значение динамической добавки:

$$\gamma_H = \frac{\omega_{H\omega} b_{\omega} d_1}{2000 \cdot T_{1H} \cdot K_A},$$

где $\omega_{H\omega}$ – удельная окружная динамическая сила;

b_{ω} – рабочая ширина венца;

d_1 – делительный диаметр колеса;

T_{1H} – вращающий момент.

Рассчитывается значение коэффициента:

$$\bar{K}_{H\omega} = 1 + \gamma_H.$$

Коэффициент вариации $v_{H\omega}$ может быть определен по формуле

$$v_{H\omega} = 0,25 \frac{\bar{K}_{H\omega} - 1}{\bar{K}_{H\omega}}.$$

Коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине контактных линий $K_{H\beta}$ определяется по формуле

$$K_{H\beta} = 1 + \frac{0,4 b_{\omega}^2 C_{\Sigma} \gamma}{F_t} K_{H\omega},$$

где C_{Σ} – суммарная удельная жесткость сопряженных колес;

γ – суммарный угол перекоса зубьев;

$K_{H\omega}$ – коэффициент, учитывающий приработку зубьев;

F_t – окружная сила.

Согласно рекомендациям [2] среднее значение $\bar{K}_{H\beta}$ определяется по формуле для $K_{H\beta}$, однако корректируют суммарный угол перекоса зубьев γ :

$$\gamma = \gamma_{\omega} + \gamma_{\Delta}.$$

Здесь γ_{ω} – угол перекоса зубьев, вызванный упругими деформациями всех деталей, а γ_{Δ} – угол перекоса зубьев, вызванный неточностью изготовления. При расчете $\bar{K}_{H\beta}$ в суммарный угол перекоса γ подставляют среднее значение $\bar{\gamma}_{\Delta}$. Рекомендации по расчету $\bar{\gamma}_{\Delta}$ приведены в ГОСТ 21354-87.

Коэффициент вариации коэффициента $K_{H\beta}$ определяется по формуле

$$v_{H\beta} = \frac{\bar{K}_{H\beta} - 1}{9 \bar{K}_{H\beta}}.$$

Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями $K_{H\alpha}$, по [3] является комбинацией двух коэффициентов: собственно $K_{H\alpha}$, учитывающий неравномерность нагрузки между зубьями, и Z_{ϵ} , зависящий от суммарной длины контактных линий. При расчете среднего значения коэффициента определяются его предельные значения $K_{H\alpha \max}$ и $K_{H\alpha \min}$:

- $K_{H\alpha \max}$ принимается равным единице и соответствует периоду работы передачи, когда в зацеплении участвует только одна пара зубьев;
- $K_{H\alpha \min}$ рассчитывается в зависимости от коэффициента торцового перекрытия:
 для прямозубых передач – $K_{H\alpha \min} = (4 - \varepsilon_\alpha) / 3$;
 для косозубых передач – $K_{H\alpha \min} = 1 / \varepsilon_\alpha$.

Если значение $\bar{K}_{H\alpha}$ получается больше единицы, то принимают $\bar{K}_{H\alpha} = 1$, если $\bar{K}_{H\alpha} < K_{H\alpha \min}$, то принимают $\bar{K}_{H\alpha} = K_{H\alpha \min}$.

Коэффициент вариации $\nu_{H\alpha}$ выбирается по табл. 3 в зависимости от полученного значения $\bar{K}_{H\alpha}$

Таблица 3

| | | | | | |
|---------------------|----------|-------------|-------------|-------------|------|
| $\bar{K}_{H\alpha}$ | 1 ÷ 0,95 | 0,95 ÷ 0,90 | 0,90 ÷ 0,85 | 0,85 ÷ 0,80 | ≤ 80 |
| $\nu_{H\alpha}$ | 0 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0 |

Составляющие общего коэффициента нагрузки условно рассматриваются независимыми, поэтому коэффициент вариации $\nu_{H\Sigma}$ определяется по правилу квадратического суммирования:

$$\nu_{H\Sigma} = \sqrt{\nu_A^2 + \nu_{H\beta}^2 + \nu_{H\nu}^2 + \nu_{H\alpha}^2}.$$

Коэффициент вариации контактного напряжения $\nu_{H\sigma}$ определяют по формуле:

$$\nu_{H\sigma} = 0,5\nu_{H\Sigma}.$$

Определяется среднее значение контактного напряжения $\bar{\sigma}_H$ по формулам, определяющим контактное напряжение, однако вместо коэффициентов, учитывающих нагрузку, подставляют среднее значение $\bar{K}_{H\Sigma}$, равное произведению средних значений частных коэффициентов:

$$\bar{K}_{H\Sigma} = \bar{K}_A \cdot \bar{K}_{H\nu} \cdot \bar{K}_{H\beta} \cdot \bar{K}_{H\alpha}.$$

Определяется квантиль распределения:

$$u_p = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 \nu_{lim}^2 + \nu_H^2}},$$

где $\bar{n} = \bar{\sigma}_{H \lim} / \bar{\sigma}_H$ – коэффициент запаса прочности по средним значениям;

$\bar{\sigma}_{H \lim}$ – среднее значение предела контактной выносливости;

$\bar{\sigma}_H$ – среднее значение действующего контактного напряжения;

ν_H – коэффициент вариации действующих напряжений, равный $\nu_{H\Sigma}$;

ν_{lim} – коэффициент вариации натуральных зубчатых колес.

Среднее значение контактной нагрузки $\bar{\sigma}_{H \lim}$ определяется по формуле

$$\bar{\sigma}_{H \lim} = \sigma_{H \lim}^o K_{HL} \prod_{i=1}^m K_i,$$

где $\sigma_{H \lim}^o$ – среднее значение длительного цикла выносливости базового образца;

K_{HL} – коэффициент долговечности;

$\prod_{i=1}^m K_i$ – произведение коэффициентов, учитывающих окружную скорость, шероховатость,

размер колеса, влияние смазки.

Значения коэффициентов K_{HL} и K_i определяются в соответствии с [3].

Среднее значение длительного цикла выносливости базового образца приближенно можно оценить по формуле

$$\sigma_{H \text{ lim}}^o = \frac{(2\bar{H} + 70)}{1 + u_p v_{H \text{ lim}}^o},$$

где u_p – квантиль нормированного нормального распределения, зависящий от вероятности неразрушения определяемого предела выносливости, $u_p = -1,28$ при вероятности разрушения 0,9 и $u_p = -2,32$ при вероятности разрушения 0,99 [2];

$v_{H \text{ lim}}^o$ – коэффициент вариации длительного предела выносливости образца, $v_{H \text{ lim}}^o = 0,08 \div 0,10$ для зубьев без термической обработки и $v_{H \text{ lim}}^o = 0,10 \div 0,12$ для поверхностей упрочненных зубьев;

\bar{H} – среднее значение твердости.

Коэффициент вариации натуральных зубчатых колес несколько больше, чем коэффициент вариации колес-образцов:

$$v_{\text{lim}} = \sqrt{(v_{\text{lim}}^o)^2 + 0,1^2}.$$

Предел контактной выносливости определяется и для колеса и для шестерни, расчет производится для наименее прочной поверхности.

После определения квантиля по [4, табл. 1.1] для нормального распределения и вычисленному значению квантиля определяется вероятность безотказной работы. Полученный результат необходимо проанализировать и предложить возможные пути повышения.

Предлагаемая методика расчета надежности зубчатой передачи может быть использована в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Литература

1. Руководство Р.007-2004. Расчет зубчатых передач на прочность. – М.: Изд-во Российского речного регистра, 2004.
2. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
3. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
4. Шиммарев В.Ю. Надежность технических систем. – М.: Издат. центр «Академия», 2010.

УДК 641.546.45:639.4

В.А. Иодис

*Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, 683002
e-mail: iodisva@mail.ru*

ПЕРЕДВИЖНЫЕ АЗОТНЫЕ СКОРОМОРОЗИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛЛЮСКОВ

В статье обсуждаются вопросы проектирования передвижных скороморозильных комплексов для производства варено-мороженого мяса мидии, филе морского гребешка. Замораживание и хранение осуществляется при использовании холодильного потенциала жидкого и газообразного азота.

Ключевые слова: проектирование, скороморозильные комплексы, жидкий и газообразный азот, моллюски.

V.A. Iodis

*Research Geotechnological Centre
Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002
e-mail: iodisva@mail.ru*

MOBILE NITROGEN QUICK-FREEZING COMPLEXES FOR MOLLUSCS PROCESSING

The design of mobile quick-freezing complexes for the production of boiled-frozen mussel meat and scallop fillet is analied in the article. Freezing and storage is carried out with using the cooling potential of liquid and gaseous nitrogen.

Key words: design, quick-freezing complexes, liquid and gaseous nitrogen, mollusks.

В настоящее время замораживание является основной частью технологических процессов переработки морепродуктов. Особую группу составляют деликатесные морепродукты, которые требуют индивидуальной технологии. В силу своего белкового, витаминного и минерального состава к таким деликатесным морепродуктам можно отнести мидии тихоокеанские и морские гребешки [1]. Сегодня объемы их добычи и культивирования неуклонно возрастают, что объясняется главным образом стремлением компенсировать падение объема промышленной продукции, изымаемой из Мирового океана. В настоящее время российский рынок морских деликатесов находится в стадии роста, поэтому спрос на морские деликатесы постоянно увеличивается. Это объясняется увеличением потребительской осведомленности о полезных свойствах продукта, необходимости его периодического употребления.

Как показывают исследования, традиционные технологии переработки мидии тихоокеанской и морского гребешка не обеспечивают в полной мере высокого качества продукта, поставляемого потребителю, в связи с этим были разработаны два способа, которые защищены двумя патентами на изобретение [2, 3], позволяющие в наибольшей степени сохранить качественные и количественные характеристики продукта и снизить время протекания технологического процесса.

Исследования, проведенные ФГБУН «КамчатНИРО», показали, что юго-восточные бухты камчатского полуострова наиболее перспективны для культивирования этих видов моллюсков. Объемы культивирования-добычи в год могут достигать 500–700 тонн и более. Но в связи с большой удаленностью участков культивирования от населенных пунктов Камчатского края возникает ряд вопросов о создании непрерывной технологической цепи переработки ценных моллюсков, хранения и доставки потребителю как на внешний, так и внутренний рынок [4].

В связи с вышесказанным возникает необходимость в разработке передвижных скороморозильных комплексов для переработки моллюсков и доставки его непосредственно потребителю. Разработано два проекта передвижных скороморозильных комплексов для комплексной переработки и доставки моллюсков непосредственно потребителю в условиях камчатского полуострова.

Передвижной скороморозильный комплекс на базе судна МРТК типа «Балтика»

Комплекс, перерабатывающий сырец моллюсков планируется разместить на маломерном судне, способном быстро принимать сырец у мест культивирования-добычи, перерабатывать и доставлять уже готовую, упакованную варено-мороженую и мороженую продукцию на береговой распределительный холодильный для последующего хранения до реализации потребителю.

Анализ существующих маломерных судов показал, что оптимальным вариантом является судно МРТК, например МРТК типа «Балтика», при размещении перерабатывающего комплекса в трюме судна. Небольшой расход топлива, небольшое количество экипажа в наименьшей степени скажется на эксплуатационных затратах и, как следствие, на конечной стоимости производимой продукции.

С учетом довольно высокой стоимости криоагента – жидкого азота в крае предусмотрено использование для процесса замораживания и хранения проточной азотной системы хладоснабжения на базе азотного скороморозильного аппарата марки АСТА, который позволяет в наибольшей степени использовать весь холодильный потенциал азота и снизить до минимума расход криоагента.

Принципиальная схема проектируемой проточной азотной системы хладоснабжения с тремя температурными уровнями, обеспечивающего полную реализацию холодильного потенциала жидкого азота, представлена на рис. 1.

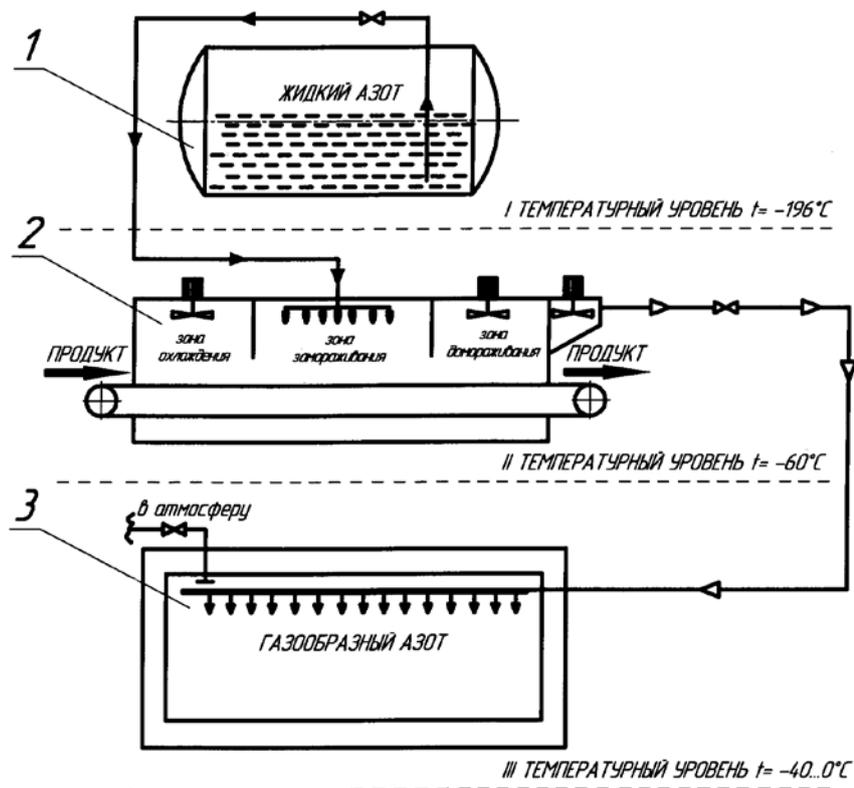


Рис. 1. Принципиальная схема проточной азотной системы хладоснабжения с тремя температурными уровнями, обеспечивающего полную реализацию холодильного потенциала жидкого азота:

1 – емкость для хранения жидкого азота; 2 – азотный скороморозильный аппарат АСТА;
3 – камера хранения мороженой продукции

Жидкий азот (температурный уровень I минус 196°C) из цистерны хранения под избыточным давлением подается в распылительные форсунки зоны замораживания азотного скороморозильного аппарата. Вскипая и превращаясь в пар, замораживая продукт, пары азота проходят в зону охлаждения и домораживания скороморозильного аппарата, откуда, отводя тепло от продукта (температурный уровень II минус 60°C) центробежным вентилятором, они нагнетаются в изотермическую камеру хранения (температурный уровень III минус $40\pm 0^{\circ}\text{C}$). Из камеры хранения газообразный азот выпускается в атмосферу.

Аксонметрическая схема проектируемого перерабатывающего комплекса, располагаемого в трюме судна МРТК, представлена на рис. 2.

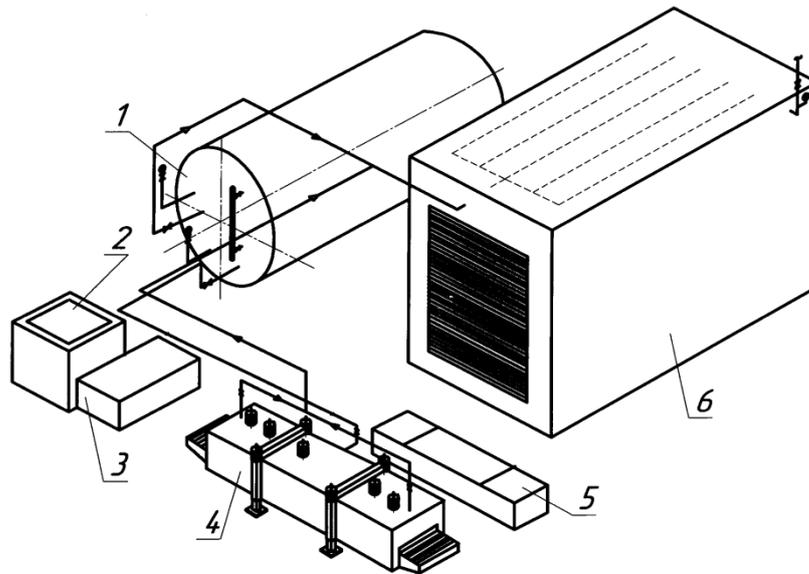


Рис. 2. Аксонометрическая схема проектируемого перерабатывающего комплекса, располагаемого в трюме судна МРТК: 1 – емкость для хранения жидкого азота; 2 – бак для варки мидии; 3 – стол фасовочный; 4 – азотный скороморозильный аппарат АСТА; 5 – стол для укладки и упаковки; 6 – камера хранения мороженой продукции

Часть технологических операций технологии производства варено-мороженой мидии и мороженого филе гребешка планируется осуществлять непосредственно у мест культивирования:

- мойка собранных с коллекторов мидий и с садков гребешка;
- выдерживание в морской воде (осуществляется в контейнерах емкостью 1 м³);
- разделение, мойка и сортировка (осуществляется автоматически с использованием машины марки *DVGC*);
- удаление бисусной нити мидий осуществляется автоматически с использованием машины марки *GR 4S*.

Технологический процесс на судне осуществляется следующим образом:

Мидии, прошедшие подготовительные технологические операции, у мест культивирования загружают на судно и сразу укладывают в проволочную корзину. Корзину затем погружают в кипящий 3÷4%-ный раствор поваренной соли на 5 мин варочного аппарата типа *FK5* (поз. 2 на рис. 2). Раковины морского гребешка раскрывают и отделяют мускул-замыкатель. Сваренные мидии быстро охлаждают, затем отделяют мясо и промывают. Расфасовывание мидии тихоокеанской производится в полипропиленовые контейнеры емкостью 130 мл, а филе морского гребешка в контейнеры емкостью 350 мл. Далее моллюсков, упакованных в контейнеры, замораживают в азотном скороморозильном аппарате (поз. 4), при этом процесс разбивается на три стадии – стадия охлаждения, замораживания и стадия домораживания. Процесс замораживания длится в течение 5–6 мин для мидии и 10–11 мин для гребешка. Контейнеры плотно закрываются крышками, маркируются и упаковываются. Упакованные контейнеры укладываются в камеру хранения с температурой не выше минус 25°C (поз. 6) [5, 6].

Передвижной скороморозильный комплекс на базе контейнеровозов типа «МАЗ»

Передвижной комплекс планируется разместить в двух 40-футовых изотермических контейнерах на базе контейнеровозов типа «МАЗ», способных быстро принимать сырец моллюсков у мест культивирования, перерабатывать и доставлять готовую упакованную продукцию. В данном комплексе также предусмотрено использование трехтемпературно-уровневой проточной азотной системы хладоснабжения на базе азотного скороморозильного аппарата.

Для непрерывности технологического процесса производства проточная азотная система хладоснабжения снабжена автономной установкой для получения жидкого азота марки «*Stirling-1 Compact*» фирмы «*Stirling*». Производительность установки 10÷16,5 л/ч, при общем потреблении электроэнергии 16 кВт. В ее состав входят: воздушный компрессор, накопительный ресивер (резервуар $V = 300$ л), два адсорбера, машина Стирлинга. В разработанной системе хладоснабжения также предусмотрена возможность подпитки камеры хранения жидким азотом

из накопительного ресивера, в случае недостаточного количества холодных паров, нагнетаемых из аппарата АСТА-30.

Реализация технологического процесса нового способа производства варено-мороженой мидии и мороженого филе морского гребешка на разработанном передвижном комплексе, представлена в виде аксонометрической схемы на рис. 3. В зависимости от места добычи комплекс обеспечивает подготовительные операции, разделку, термическую обработку, замораживание и холодильное хранение.

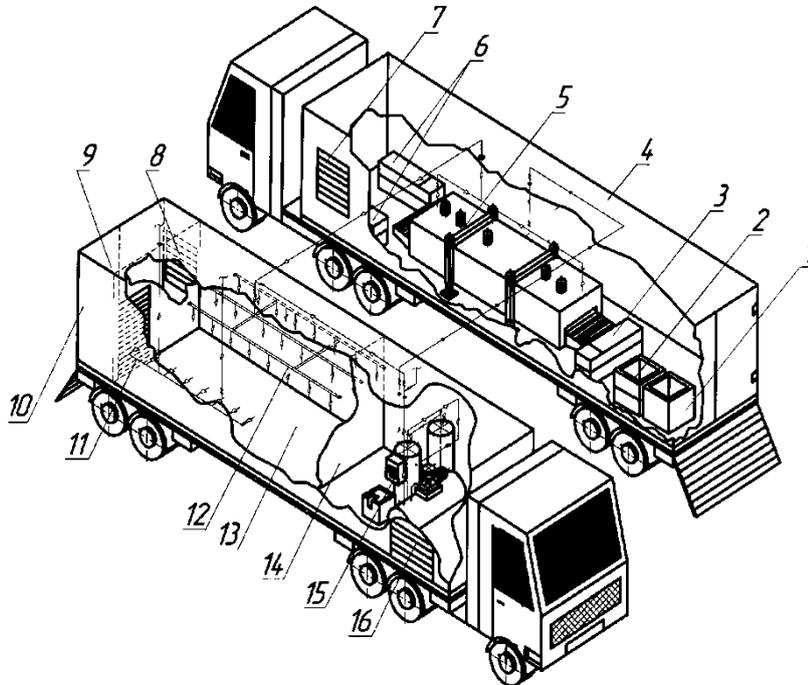


Рис. 3. Аксонометрическая схема передвижного перерабатывающего комплекса:

- 1 – варочный аппарат типа «FK5»; 2 – бак чистой проточной морской воды; 3 – разделочный стол;
- 4 – 40-футовый изотермический контейнер № 1; 5 – азотный скороморозильный аппарат АСТА-30;
- 6 – два упаковочных стола; 7 – окно выдачи мороженого продукта; 8 – окно приемки мороженого продукта;
- 9 – накопитель; 10 – 40-футовый изотермический контейнер № 2; 11 – выпускной коллектор;
- 12 – газовый коллектор; 13 – камера хранения; 14 – помещение установки для получения жидкого азота;
- 15 – установка для получения жидкого азота «StirLIN-1 Compact»;
- 16 – отдельный вход в помещение установки для получения жидкого азота

Подготовительные операции включает мойку собранных с коллекторов и садков мидий и гребешков, выдерживание в морской воде, разделение моллюсков, сортировку и удаление бисусной нити мидий.

Во второй части технологического процесса, осуществляемого в 40-футовом изотермическом контейнере № 1 (поз. 4), мидии погружают на 10 мин в варочный аппарат типа «FK5» (поз. 1). Сваренные ракушки быстро охлаждают в баке чистой проточной морской воды (поз. 2), затем на разделочном столе (поз. 3) отделяют, промывают мясо и расфасовывают. Здесь же происходит раскрытие раковин морского гребешка и отделение мускула-замыкателя.

Далее вареную мидию и филе гребешка замораживают в азотном скороморозильном аппарате (поз. 5). Процесс замораживания, упаковки в ящики, маркировки соответствует технологическому процессу скороморозильного комплекса на базе судна.

Картонные ящики с продуктом (третья часть технологического процесса) через окна выдачи-приемки (поз. 7 и по. 8) поступают в накопитель (поз. 9) контейнера № 2 (поз. 10) и затем укладываются в камеру хранения (поз. 13) с температурой не выше минус 25°C. Кроме накопителя и холодильной камеры хранения продукта в торце контейнера № 2 предусмотрено помещение (поз. 14) с отдельным входом (поз. 16) для размещения установка для получения жидкого азота марки «StirLIN-1 Compact» (поз. 15).

Для обеспечения автономной работы комплекса в целом нами предусмотрены два автономных дизель-генератора отечественного производства марки ПСМ-АД-30 требуемой мощности каждого 25 кВт, при часовом расходе топлива $g_{\text{час}} = 10,3$ кг/кВт·ч.

Как показывают расчеты, суточная производительность комплекса может составлять 1600 кг/сутки сырца мидии или морского гребешка, а суточный выпуск готовой продукции 180 кг/сутки.

Таким образом, разработанные передвижные перерабатывающие комплексы для производства варено-мороженой мидии и мороженого филе гребешка, позволяют:

- создать непрерывную технологическую цепь переработки ценных моллюсков – мидии тихоокеанской и морского гребешка, их хранения и доставки потребителю;
- начать успешное культивирование-добычу и переработку моллюсков в труднодоступных бухтах, заливах Камчатского края, Дальнего Востока, ранее недоступные для этого;
- существенно сократить время технологического процесса обработки в сравнении с традиционными способами замораживания на два-три часа, увеличить качество готового продукта и его выход после дефростации на 4–5% [6].

Литература

1. *Иодис В.А.* Перспективы использования азота для замораживания ценных видов гидробионтов // Интеллектуальный потенциал вузов – на развитие Дальневосточного региона России: Материалы VIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2006. – С. 84–86.
2. *Балыкова Л.И., Иодис В.А.* Способ извлечения содержимого раковин двустворчатых моллюсков: Патент на изобретение RUS 2368143 06.03.2008.
3. *Балыкова Л.И., Иодис В.А.* Способ производства варено-мороженой двустворчатых моллюсков (Мидии тихоокеанской): Патент на изобретение RUS 2394435 15.12.2008.
4. *Архипова Е.А.* Состояние поселений мидий *Mytilus Trossulus* на шельфе Восточной Камчатки // Материалы VI науч. конф., Петропавловск-Камчатский, 29–30 ноября 2005 г. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2005.
5. *Иодис В.А., Балыкова Л.И., Жуков С.А.* Передвижной азотный скороморозильный комплекс для производства варено-мороженой мидии на базе судна МРТК типа «Балтика» // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: Материалы II Международной научно-практической конференции. В 2 ч. – 2012. – С. 197–201.
6. *Балыкова Л.И., Иодис В.А.* Разработка технологии производства варено-мороженой мидий // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2009. – № 10. – С. 41–43.
7. *Иодис В.А., Балыкова Л.И.* Мобильная холодильная цепь переработки двустворчатых моллюсков // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2012. – № 21. – С. 10–14.

УДК 621.867

Т.П. Мищенко

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283000
e-mail: mtpgztl2015@yandex.ru*

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУДНОГОРЮЧЕЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ
В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ
НА РОЛИКОПОРАХ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА**

Рассмотрены виды аварийных режимов, типы конвейерных лент, проведен анализ тепловых режимов в аварийной ситуации на ленточном конвейере, приведена опытная формула расчета коэффициента теплопроводности многослойной конвейерной ленты.

Ключевые слова: ленточный конвейер, лента, аварийная ситуация, ролик, барабан, тепловой режим, теплопроводность, конвекция, излучение, коэффициент теплопроводности.

T.P. Mishchenko

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283000
e-mail: mtpgztl2015@yandex.ru*

**ANALYSIS OF FLAME RETARDANT CONVEYOR BELT USE
IN EMERGENCY ON BELT CONVEYOR CARRYING ROLLERS**

The types of emergency modes, types of conveyor belts have been discussed, the analysis of thermal conditions in emergency on the conveyor belt is performed, and the experimental formula for calculating the coefficient of a multilayer conveyor belt thermal conductivity is presented.

Key words: belt conveyor, belt, emergency, roller, drum, thermal mode, thermal conductivity, convection, radiation, thermal conductivity coefficient.

На морских судах при непосредственном осуществлении погрузочно-разгрузочных операций для перемещения различных насыпных грузов непрерывным потоком в качестве перегрузочного оборудования в основном используются ленточные конвейеры. Они имеют возможность перемещать грузы в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях. Именно благодаря своим достоинствам конвейеры ленточного типа нашли свое применение в саморазгружающихся судах [1, 2]. Однако существуют и недостатки в виде высокой стоимости и недолговечности ленты, которая также может послужить источником возгорания вследствие трения об элементы конструкции.

Возгорание или тление ленты происходит при относительно малой мощности и более низких температурах. Это происходит при увеличении температуры мелкодисперсных частиц, которые образуются при истирании поверхности или бортов ленты. А это чаще всего случается при пробуксовке ленты на барабанах конвейера, при трении ленты о другие элементы конструкции (ролики, став). Пробуксовка ленты может произойти вследствие выработки футеровки приводных и концевых барабанов или ее отсутствия и при недостаточном натяжении ленты.

Многие ученые проводили исследования образцов материала трудногорючих конвейерных лент [3, 4], что позволило определить необходимость изучения и совершенствования материала конвейерных лент по параметрам пожароопасности (табл. 1). В том числе исследовать тепловые процессы, происходящие во время пробуксовки ленты.

Таблица 1

Данные о температуре воспламенения и тления ленты

| Наименование образцов | Температура самовоспламенения, °С | Температура тления, °С |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Образцы ленты в агрегатном состоянии | 286–350 | 185 |
| Измельченные частицы ленты | 255 | 97 |
| Образцы резиновой футеровки приводного барабана | 294 | не определялась |
| Измельченные частицы футеровки приводного барабана | 290 | не определялась |

Согласно ГОСТ 20-85 основные параметры конвейерных лент отражены в табл. 2 [5].

Таблица 2

Основные параметры, характеристика и назначение конвейерных лент

| Тип ленты | Основные характеристики ленты | Вид транспортируемого материала, груза | Вид ленты |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и защитной или брекерной прокладкой под резиновой обкладкой рабочей поверхности и резиновыми бортами | Руды черных и цветных металлов, крепкие горные породы кусками размером до 500 мм, бревна диаметром до 900 мм и другие материалы | Общего назначения Морозостойкая |
| 1 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и защитной или брекерной прокладкой под резиновой обкладкой рабочей поверхности и резиновыми бортами | Известняк, доломит кусками размером до 500 мм, руды черных и цветных металлов кусками до 350 мм и другие крупнокусковые материалы, бревна диаметром до 900 мм | Общего назначения Морозостойкая |
| 1 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и защитной или брекерной прокладкой под резиновой обкладкой рабочей поверхности и резиновыми бортами | Уголь кусками размером до 700 мм и породы кусками размером до 500 мм, антрацит кусками размером до 700 мм или породы кусками размером до 500 мм | Трудно-воспламеняющаяся Трудно-воспламеняющаяся морозостойкая |
| 2 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и резиновыми бортами | Руды черных и цветных металлов, крепкие горные породы кусками до 100 мм, известняк, доломит, кокс, агломерат, шихта, концентрат рудный и другие высокоабразивные и абразивные материалы кусками размером до 150 мм | Общего назначения Морозостойкая |
| 2 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и резиновыми бортами | Уголь рядовой, глина, цемент, мягкие породы и другие малоабразивные материалы кусками до 150 мм | Общего назначения Морозостойкая |
| 2 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и резиновыми бортами | Уголь (куски размером до 500 мм) и породы (куски размером до 300 мм) Антрацит кусками размером до 500 мм или породы размером до 300 мм | Трудно-воспламеняющаяся |
| 2 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и резиновыми бортами | Антрацит кусками размером до 500 мм или породы размером до 300 мм | Трудно-воспламеняющаяся морозостойкая |
| 2 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и резиновыми бортами | Материалы с температурой до 100°C: высокоабразивные и абразивные, малоабразивные и неабразивные Материалы с температурой до 150°C: высокоабразивные и абразивные, малоабразивные и неабразивные Материалы с температурой до 200°C: высокоабразивные, абразивные, малоабразивные и неабразивные | Теплостойкая |
| 2 | Многопрокладочная, с двусторонней резиновой обкладкой и резиновыми бортами | Малоабразивные материалы, в том числе продукты сельского хозяйства, неабразивные мелкие, сыпучие и пакетированные материалы | Общего назначения Пищевая |
| 3 | Многопрокладочная, с односторонней резиновой обкладкой и нарезными бортами | Малоабразивные и неабразивные материалы, в том числе продукты сельского хозяйства, мелкие, сыпучие и пакетированные материалы | Общего назначения Пищевая |
| 4 | Одно- и двухпрокладочные с двусторонней резиновой обкладкой и нарезными бортами | Малоабразивные и неабразивные мелкие и сыпучие материалы, в том числе продукты сельского хозяйства только на конвейерах со сплошным опорным настилом Пакетированные материалы Мелкие упакованные пищевые продукты | Общего назначения Пищевая |

Существует три основных аварийных режима ленточного конвейера, при которых выделяется большое количество тепла.

1. Пробуксовка ленты на приводном барабане при недостаточном натяжении ее в точке сбегания с привода.

2. Заклинивание на концевом барабане и лента движется по барабану с полной пробуксовкой.

3. Неисправность роликов приводит к их остановке – пробуксовке и силы прижатия ленты к ролику достаточно для возникновения между ними интенсивного трения.

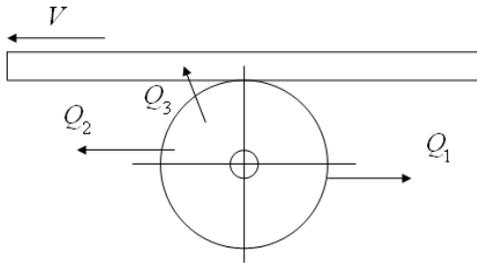


Рис. 1. Отвод тепла при режиме заклинивания ролика: Q_1 – количество тепла, отведенное излучением в окружающую среду; Q_2 – количество тепла, отведенное естественной конвекцией; Q_3 – количество тепла, отведенное теплопроводностью от неподвижного ролика к ленте

При интенсивном трении ленты о роликкоопору происходит выделение большого количества тепла, которое идет на нагрев самой ленты и элементов конструкции, а также часть отдается в окружающую среду теплопроводностью, излучением и конвекцией (рис. 1). При излучении тепло передается в виде электромагнитных волн с превращением тепловой энергии в лучистую и обратно. При конвекции тепло отдается в окружающий воздух. При естественном движении воздуха конвекция будет естественной, а при вынужденной соответственно – вынужденной [6].

В данном рассматриваемом случае количество тепла будет выражаться следующим образом (1), (2), (3).

Количество тепла, излучаемое в окружающую среду:

$$Q_1 = c \cdot F \left[\left(\frac{273 + t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right] \text{ кДж/ч,} \quad (1)$$

где F – площадь излучения, включающая в себя площади поверхностей участка ролика, не покрытого лентой, торцевых элементов ролика, м^2 ;

c – коэффициент излучения от поверхности F , для матовой поверхности $\text{кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$;

t_1 – максимально допустимая температура для выбранного типа ленты;

t_0 – температура окружающей среды.

Количество тепла, отводимое естественной конвекцией:

$$Q_2 = \alpha \cdot F_p (t_1 - t_0) \text{ кДж/ч,} \quad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи в условиях естественной конвекции, $\text{кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$;

F_p – площадь поверхности ролика, не покрытого лентой.

Количество тепла, расходуемое на нагрев ролика и ленты:

$$Q_3 = (c_p \cdot G_p + c_l \cdot G_l) \cdot (t_1 - t_0) \text{ кДж,} \quad (3)$$

где G_p – масса ролика;

G_l – масса ленты на участке касания с роликом, м ;

c_l – теплоемкость материала ленты, $\text{кДж/кг} \cdot \text{град}$;

c_p – теплоемкость материала ролика, $\text{кДж/кг} \cdot \text{град}$.

Важным параметром в исследованиях свойств материала конвейерных лент, а также процессов нагрева, происходящих на ленточном конвейере, является коэффициент теплопроводности, характеризующий собой способность вещества проводить тепло [7]:

$$\lambda = -\frac{Q/F}{\Delta t}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{град),}$$

где Q – тепловой поток, Вт ;

F – площадь поверхности, через которую проходит поток тепла, м^2 ;

Δt – разность температур поверхности материала, град .

Коэффициент теплопроводности для различных веществ различен и для каждого из них зависит от структуры, плотности, влажности, давления и температуры тела. Он определяется опытным путем (рис. 2).

Для трудногорючей ленты было установлено, что она состоит из резины, тканевых прокладок и сквиджа [8]. В этом случае коэффициент теплопроводности ленты может выглядеть следующим образом:

$$\lambda_{ср.л} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * \delta_i}{\sum_{i=1}^n \delta_i},$$

где $\lambda_{ср.л}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности шахтной трудногорючей ленты определенного типа, Вт/м·град;

λ_i – значение коэффициента теплопроводности слоя ленты, определенное опытным путем с помощью экспериментального стенда, Вт/м·град;

δ_i – значение толщины слоя ленты, м.

Подводя итог, можно сказать, что при исследовании процесса нагрева, происходящего на ленточном конвейере, целесообразно использовать трудногорючую конвейерную ленту, при изучении которой необходимо учитывать коэффициент теплопроводности отдельных ее компонентов, а также процессы, протекающие в аварийных ситуациях при работе ленточного конвейера. В дальнейшем процесс нагрева ленты в режиме ее движения по невращающемуся ролику роликоопоры возможно описать математически и представить математическую модель данного процесса нагрева.

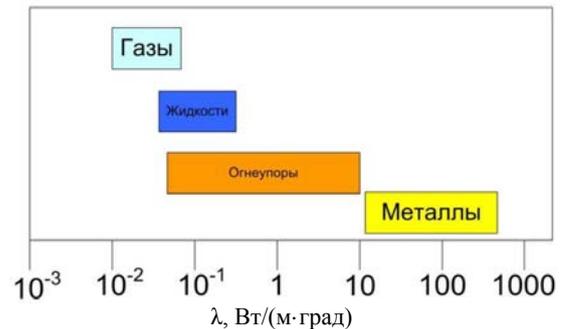


Рис. 2. Диаграмма интервалов значений коэффициента теплопроводности различных веществ

Литература

1. *Ромакин Н.Е.* Машины непрерывного транспорта: Учебное пособие. – М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 429 с.
2. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. В.П. Кондрахина. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Донецк, 2017. – 216 с.
3. Определение пожароопасности материала шахтных конвейерных лент/ *Л.С. Беляева, А.В. Бондаренко, В.И. Саранчук, Л.Я. Галушко* // Уголь Украины. – 2000. – № 1. – С. 37–39.
4. Пути увеличения срока службы быстроизнашиваемых поверхностей и конвейерных лент / *А.Я. Грудачев, Ю.А. Беломестнов, В.А. Фифиндик, В.В. Баиштырев, С.П. Коваленко* // Уголь Украины. – 2001. – № 4. – С. 33 – 36.
5. ГОСТ 20-85 Ленты конвейерные резиноканевые. Технические условия (с Изменениями № 1-5). Группа Л-6. Утвержден и введен в действие 01.01.1987 г. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 20.12.85 № 4445 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200017853> (дата обращения: 03.09.2018).
6. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
7. *Головинцов А.Г., Юдаев Б.Н., Федотов Е.И.* Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Машиностроение, 1970. – 296 с.
8. *Мищенко Т.П., Лебедев А.Н., Грудачев А.Я.* Анализ методик определения коэффициента теплопроводности материалов применительно к конвейерной ленте как композиционного материала // Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса», 24–25 мая 2017 г. – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНТУ» – МОН ДНР, 2017. – С. 40–44.

УДК 621.64:629.356

Е.А. Степанова, И.Р. Абрахимов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: len_sta@rambler.ru; mirid@autorambler.ru*

СРЕДСТВА ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ И ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА С МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Выполнен сравнительный анализ способов транспортировки нефти и газа с морских месторождений. Приведены преимущества и недостатки каждого способа, рассмотрена возможность их использования на Камчатке.

Ключевые слова: танкерный способ транспортировки, трубопроводный способ транспортировки, плавучие системы хранения и отгрузки (FSO).

E.A. Stepanova, I.R. Abrakhimov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: len_sta@rambler.ru; mirid@autorambler.ru*

OIL AND GAS CONDENSATE STORAGE AND TRANSPORTATION FROM OFFSHORE OIL AND GAS FIELDS

A comparative analysis of modes of oil and gas transportation from offshore fields is performed. The advantages and disadvantages of each mode are given, the possibility of their use in Kamchatka is considered.

Key words: tanker transportation mode, pipe transportation mode, floating storage and offloading (FSO) systems.

Весь мир использует нефть и газовые конденсаты в качестве энергоресурсов и сырья. Добыча этих ресурсов происходит как на суше, так и на воде. Рассмотрим способы транспортировки нефти и газа с морских месторождений.

Транспортировка нефти и газа с морских месторождений происходит лишь двумя способами:

- танкерным;
- трубопроводным.

Танкерный транспорт является составной частью морского транспорта, являющегося основным видом транспорта по доставке грузов странам, расположенным на других континентах. Такие перевозки кроме морского транспорта доступны только воздушному. Однако воздушный транспорт успешно конкурирует с морским лишь в области пассажирских перевозок. Что касается грузовых перевозок, особенно массовых грузов, воздушный транспорт не только в настоящее время, но и в ближайшей перспективе не сможет конкурировать с морским.

Морской транспорт является наиболее экономичным видом транспорта, что объясняется, во-первых, почти полным отсутствием затрат на создание и содержание пути, поскольку глубины морей и океанов настолько значительны, что не требуют каких-либо специальных затрат, за исключением некоторых мелководных участков на подходах к портам.

Удельная стоимость средств транспорта на морском транспорте также меньше. В итоге перевозки морским транспортом на 40–45% дешевле железнодорожных, на 36% – речных и в 27 раз – автомобильных.

Танкерные суда относятся к классу транспортных судов. Они используются в основном для перевозки сырой нефти и нефтепродуктов (бензина, керосина, мазута, масел и др.), а также конденсата и сжиженного газа. Танкеры относятся к числу наиболее крупных судов торгового флота.

В настоящее время находятся в эксплуатации танкеры грузоподъемностью свыше 100–150 тыс. т (так называемые супертанкеры) и строится танкер дедвейтом (сумма массы полезного груза, перевозимого судном) более 150–160 тыс. т с осадкой более 17 м.

Чтобы месторождение функционировало непрерывно, даже в отсутствии свободного танкера, существует плавучие системы хранения и отгрузки (FSO).

Преимущества:

- низкая себестоимость перевозки нефти на дальние расстояния;
- неограниченная пропускная способность морских путей;
- суда могут переключаться с одного маршрута на другой.

Недостатки:

- Применение морского транспорта ограничено географическим положением.

Плавучие хранилища (FSO) используются главным образом на тех морских месторождениях, где строительство хранилищ других типов или трубопровода на берег нерентабельно.

Хранилище необходимо для обеспечения достаточного запасного объема нефти между ее отгрузками на транспортные танкеры для того, чтобы месторождение функционировало непрерывно и не требовалось прекращать подачу нефти после загрузки танкера.

В современной практике существует множество типов плавучих систем хранения и отгрузки. Мы рассмотрим все операции, опираясь на систему хранения и отгрузки SPAR.

SPAR – автономное полупогружное хранилище, имеющее поворотный стол со швартовым и погрузочным оборудованием. Первая установка была смонтирована в 1976 г. на месторождении Brent при глубине 140 м на расстоянии 2,2 км от стационарной платформы и служила в качестве временного морского хранилища и отгрузочной установки.

Сырая нефть, подаваемая насосами платформ, поступает на систему SPAR через донный манифольд и гибкие стояки. Она проходит по внутренним трубопроводам до цистерны переполнения и отсюда вниз через распределитель в один из шести отсеков хранилища.

При отгрузке нефти морская вода вытесняется. Она поступает вверх через водяной стояк, который доходит до днища отсека. Любые следы нефти в удаляемой балластной воде задерживаются сепаратором, расположенным на уровне ватерлинии. Затем вода поступает в центральную шахту. Если в процессе очистки случаются сбои, это можно увидеть до того, как произойдет разлив нефти.

При откачивании нефти из отсеков хранилища граница между нефтью и водой поднимается.

Система трубопроводов причала SPAR рассчитана так, что, в принципе, разность давлений между морской водой внутри хранилища и снаружи отсутствует. Нефть в хранилище SPAR находится под несколько большим давлением, чем окружающая вода.

Поступление нефти с добывающей платформы продолжается и во время погрузки танкера. Если хранилище SPAR опорожняется раньше, чем танкер загружен полностью, последний может оставаться причаленным, получая нефть прямо с добывающей платформы.

Система SPAR проектируется так, чтобы сохранять остойчивость даже при сильном волнении, чтобы в жестокий шторм при ветре силой 11 баллов угол наклона SPAR не превышал 6°.

Трубопроводы в зависимости от перекачиваемого углеводорода называют нефтепроводами или газопроводами. В условиях шельфа будем рассматривать только нефте- и газопроводы.

Трубопроводы по своему назначению делятся на следующие группы:

- Внутренние – соединяют различные объекты обустройства на промыслах;
- Местные – по сравнению с внутренними имеют большую протяженность и соединяют промыслы с головной станцией магистрального трубопровода;
- Магистральные – характеризуются большой протяженностью (сотни и тысячи километров), поэтому перекачка ведется не одной, а несколькими станциями, расположенными на трассе.

Согласно нормативным документам магистральные нефтепроводы подразделяются на четыре класса в зависимости от условного диаметра труб (в мм):

- 1 класс – 1000–1200 мм;
- 2 класс – 500–1000 мм;
- 3 класс – 300–500 мм;
- 4 класс – <300 мм.

Магистральные газопроводы подразделяются на два класса в зависимости от рабочего давления в газопроводе:

- 1 класс – 2,5–10 МПа;
- 2 класс – 1,2–2,5 МПа.

Принципиальное отличие проектирования морских нефте- и газопроводов заключается в том, что сухопутные трубопроводы рассчитываются в основном на воздействие внутренних

давлений перекачиваемых углеводородных продуктов, а морские трубопроводы рассчитываются как на внутренние, так и на внешние давления. В глубоководных условиях внешние давления могут быть соизмеримы с внутренними. Кроме того, наличие отрицательных температур в газопроводах может привести к обледенению трубопроводов, что создаст дополнительные силы их выталкивания за счет силы Архимеда и т. д.

Преимущества:

- перекачка нефти, газа и нефте-, газопродуктов на значительные расстояния;
- высокий темп доставки и различная пропускная способность;
- непрерывная работа круглый год (с кратковременной остановкой в случае ремонта или аварии);
- потери на трассе сведены к минимуму, благодаря конструктивным особенностям трубопроводов и их профилактическому обслуживанию;
- можно транспортировать нефть и нефтепродукты, вязкость которых существенно варьируется;
- эффективное функционирование в различных климатических зонах, в том числе в районах Крайнего Севера и Сибири (для этого подбираются трубы с соответствующими характеристиками);
- высокая степень механизации и автоматизации строительного-монтажных мероприятий при создании трубопроводов;
- комплексное наблюдение и управление за всеми процессами.

Недостатки:

- высокая стоимость начальных капиталовложений при строительстве нефтегазопроводной сети;
- опасность нанесения ущерба экологии (особенно при транспортировании подводных трубопроводов);
- сложность прокладки трассы в определенных районах.

Таким образом, самым эффективным способом транспортировки углеводородов является трубопроводный, так как является наиболее дешевым способом, которым осуществляется транспорт нефтепродуктов, но на Камчатке используется лишь танкерная транспортировка в связи с отсутствием трубопроводов на дне океана.

Литература

1. *Суворова И.А.* Транспорт углеводородов с морских месторождений: Учебное пособие. Ч. 1 / РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина; Каф. освоения морских нефтегазовых месторождений. – М., 2002. – 110 с.
2. *Суворова И.А.* Транспорт углеводородов с морских месторождений: Ученое пособие. Ч. 2 / РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина; Каф. освоения морских нефтегазовых месторождений. – М., 2003. – 104 с.
3. Учебные материалы по дисциплине «Технические средства для хранения и транспортировки жидких углеводородов в морских условиях». 3 семестр. – 2014.
4. *Мирзоев Д.А.* Основы морского нефтегазового дела. В 2 т. Т. 1 Обустройство и эксплуатация морских нефтегазовых месторождений. – М.: Изд-во ООО «День Серебра», 2009. – 288 с.
5. Морские нефтегазовые точечные причалы / *Г.В. Грудницкий, С.Г. Грудницкий, С.И. Егоров, Р. Мамутов.* – М.: Энерджи Пресс, 2011. – 368 с.
6. Морская нефть. Трубопроводный транспорт и переработка продукции скважин / *Э.М. Мовсум-заде, Б. Мастобаев, Ю. Мастобаев, М.Э. Мовсум-заде;* Под ред. А.М. Шаммазова. – СПб.: Недра, 2006. – 192 с.
7. *Керимов М.З.* Трубопроводы нефти и газа. – М.: Наука, 2002. – 256 с.
8. *Крыштын Л.К. Тимченко О.И.* Техническая эксплуатация танкера. – М.: Транспорт, 1980. – 208 с.
9. Морские трубопроводы / *Ю.А. Горяинов, А.С. Федоров, Г.Г. Васильев и др.* – М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. – 131 с.
10. URL: <https://neftegaz.ru/science/view/1169-Transportirovka-i-hraneniya-uglevodorodov>

УДК 553.982+553.981:621.643+629.356

Е.А. Степанова, Р.В. Малахов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: len_sta@rambler.ru; malakhov.r.99@gmail.com*

СПОСОБЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОДУКТОВ

Произведен сравнительный анализ способов перевозки углеводородов и выбор наиболее подходящего экономически и географически для Камчатского края.

Ключевые слова: углеводороды, газ, нефть, транспортировка углеводородов, вагон-цистерна, автоцистерна, трубопровод.

E.A. Stepanova, R.V. Malakhov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: len_sta@rambler.ru; malakhov.r.99@gmail.com*

OIL AND OIL-AND-GAS PRODUCTS TRANSPORTATION MODES

The hydrocarbon transportation modes are compared and the most suitable one for the economical and geographical conditions of Kamchatskii Krai is selected.

Key words: hydrocarbons, gas, oil, hydrocarbon transportation, tank car, tanker truck, pipeline.

В настоящее время для транспортировки углеводородов в основном используется железнодорожный, водный, автомобильный и трубопроводный транспорт.

Железнодорожный транспорт – наиболее распространенный вид транспорта для перевозки грузов. Перевозка жидких нефтяных грузов осуществляется в специальных стальных вагонах-цистернах (рис. 1) грузоподъемностью 50, 60 и 120 т, выполненных из листовой стали толщиной 8–11 мм.

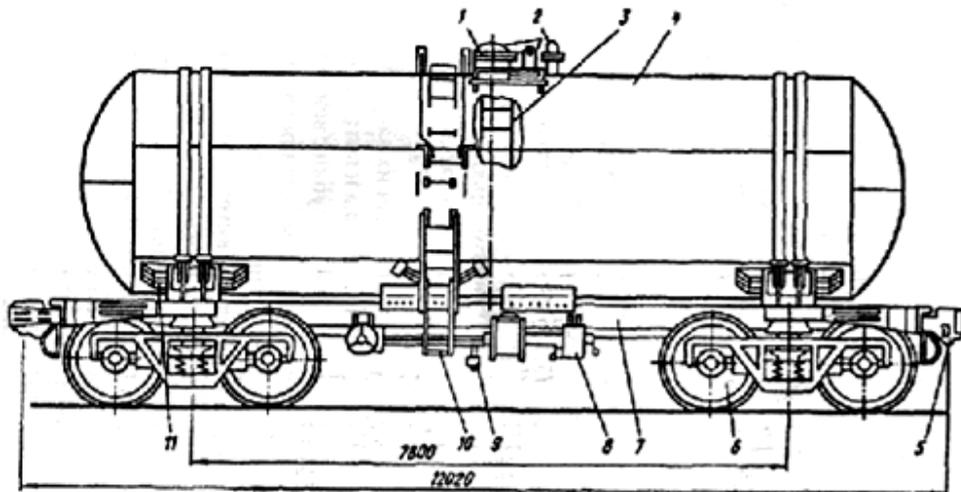


Рис. 1. Цистерна для перевозки бензина и светлых нефтепродуктов (модель 15-1443):

1 – горловина, 2 – предохранительная арматура, 3 – внутренняя лестница, 4 – котел, 5 – ударнотяговые устройства, 6 – ходовая часть, 7 – рама, 8 – тормозное оборудование, 9 – сливной прибор, 10 – наружная лестница, 11 – устройства крепления котла к раме

Налив нефтепродуктов в цистерну, как правило, производится сверху, а слив снизу. Цистерны оборудуются смотровыми площадками, внутренними и наружными лестницами, нижними сливными приборами и другими необходимыми устройствами для надежной эксплуатации в пути следования и при сливно-наливных работах.

Конструктивно цистерна состоит из следующих основных частей: рамы, ходовой части, ударно-тяговых устройств, тормозного оборудования, котла, внутренней и наружной лестниц, устройств крепления котла к раме, горловины и сливного прибора, предохранительной арматуры.

Ключевые плюсы железнодорожного способа перевозки: универсальность, т. е. возможность перевозки всех видов нефти и нефтепродуктов, газа в любых объемах; равномерность доставки грузов в течение всего года с более высокой скоростью, чем водным транспортом; возможность доставки газа и нефтепродуктов в большинство пунктов потребления в связи с наличием разветвленных железнодорожных сетей в густонаселенных промышленных и сельскохозяйственных районах.

Но также у этого способа имеется несколько крупных недостатков: к примеру, большие капитальные затраты при строительстве новых, ремонте и реконструкции существующих железнодорожных линий; относительно высокие эксплуатационные затраты; относительно низкая эффективность использования мощности подвижного состава (цистерны в обратном направлении идут незагруженными); значительные потери нефти и нефтепродуктов при транспорте и разгрузочно-погрузочных операциях; сильная необходимость в специальных сливно-наливных пунктах и пунктах зачистки вагонов-цистерн, автоматических газонаполнительных компрессорных станций.

Водный транспорт нефти делится на речной – по внутренним водным путям (рекам, озерам) и морской – по морям и океанам (как по внутренним морям континента, так и межконтинентальными). По рекам и озерам нефть перевозится в баржах (рис. 2) (в том числе самоходных) и в речных танкерах – специальных самоходных судах, предназначенных для перевозки нефтегрузов. Имеются танкеры класса «река – море» грузоподъемностью 5000 т повышенной прочности. Эти суда даже способны совершать рейсы в открытых морях, таких как Средиземное, Охотское. Баржи отличаются от танкеров тем, что не имеют собственных насосов.



Рис. 2. Нефтяная баржа

Танкер, в свою очередь, это самоходное судно, корпус которого системой продольных и поперечных перегородок поделен на отсеки. Для сбора продуктов испарения нефтегрузов и регулирования давления в танках на палубе танкера устроена специальная газоотводная система с дыхательными клапанами. Имеются танкеры класса «река – море» (рис. 3) грузоподъемностью 5000 т повышенной прочности. Эти суда даже способны совершать рейсы в открытых морях, таких как Средиземное, Охотское.

Нефтеналивные суда характеризуются такими показателями, как:

- водоизмещение – массой воды, вытесняемой груженным судном. Водоизмещение судна при полной осадке равно собственной массе судна и массе полного груза в нем, включая все необходимые для плавания запасы;
- дедвейт – массой поднимаемого груза (транспортного и хозяйственного);

- грузоподъемность – массой транспортного груза;
- осадка при полной загрузке;
- скорость при полной загрузке.



Рис. 3. Нефтяной танкер

У водного способа транспортировки есть крупное достоинство: неограниченная пропускная способность водных путей, поэтому в большинстве случаев нет надобности в создании дорогостоящих линейных сооружений.

Но есть и минус: провозная способность флота ограничивается грузоподъемностью и другими показателями передвижных средств флота, производительностью причального и берегового нефтебазового хозяйства.

Автотранспорт – основной вид транспорта для доставки нефтепродуктов с распределительных нефтебаз и наливных пунктов непосредственно к местам потребления (на АЗС, заводы, фабрики, автобазы и т. д.). Автотранспортом можно перевозить все типы углеводородов. В нашей стране его используют для транспортировки нефтепродуктов и сжиженных углеводородных газов (СУГ). Для перевозки сырой нефти автотранспорт практически не используют.

Автоцистерны (рис. 4) можно классифицировать следующим образом:

- 1) по назначению – для темных и светлых нефтепродуктов, газов;
- 2) по размещению оборудования – на шасси, прицепах, полуприцепах;
- 3) по вместительности – малой (до 5 000 л), средней (5 000–15 000 л) и большой вместимости (более 15 000 л);
- 4) по возможности заправки транспортных средств (автотопливозаправщики).



Рис. 4. Автоцистерна

Перевозки нефтепродуктов и СУГ автотранспортом осуществляют в основном на расстоянии в пределах от 10 до 300 км. На больших расстояниях автотранспорт неэкономичен по сравнению с железно-дорожным транспортом, и его используют лишь там, где отсутствуют другие виды транспорта (например, на Севере и т. д.). Массовые нефтепродукты (бензин, дизельное топливо, мазут, различные масла) перевозят в специализированных автоцистернах и автоприцепах, мелкие партии нефтепродуктов – в таре на бортовых машинах.

Данный способ перевозки отличается от остальных высокой оперативностью, доставкой небольших партий нефтепродуктов на различные расстояния с большой скоростью, а также высокой маневренностью и высокой проходимостью.

Но высокие затраты на эксплуатацию (в 10–20 раз стоимость перевозок автотранспортом выше, чем по железной дороге), сравнительно малая грузоподъемность автоцистерн, неполная загрузка подвижных средств из-за порожних пробегов цистерн и высокая зависимость от наличия и технического состояния дорог делают этот способ транспортировки невыгодным.

Авиатранспорт для транспортировки нефтепродуктов из-за значительной стоимости применяют только для снабжения отдельных пунктов на Крайнем Севере, дрейфующих станций и зимовок в Арктике. Доставку нефтепродуктов воздушным транспортом осуществляют, как правило, в бочках.

Воздушный способ транспортировки имеет схожие с автомобильным достоинства, такие как возможность доставки малых партий нефтепродуктов на различные расстояния с большой скоростью и высокой оперативностью, но при этом отсутствует необходимость в хороших автодорогах. Однако перевозка требует особых мер безопасности, поэтому этим способом доставки пользуются в случаях критической необходимости или невозможности доставить груз иным путем.

Кроме схожих достоинств, воздушный и автомобильный способы имеют общий недостаток: высокие затраты на эксплуатацию, однако у авиатранспорта довольно низкая грузоподъемность и высокая зависимость от погодных условий.

Трубопроводная транспортировка нефтегрузов осуществляется по специальным трубопроводам от мест производства к местам потребления. По перекачиваемому продукту трубопроводы разделяют на нефтепроводы, перекачивающие нефть, и нефтепродуктопроводы, перекачивающие бензины, дизельные топлива, керосины, мазуты.

В зависимости от вида транспортируемого продукта различают следующие типы специализированных трубопроводных систем: нефтепроводы (рис. 5), нефтепродуктопроводы, газопроводы (рис. 6) и трубопроводы для транспортирования нетрадиционных грузов.

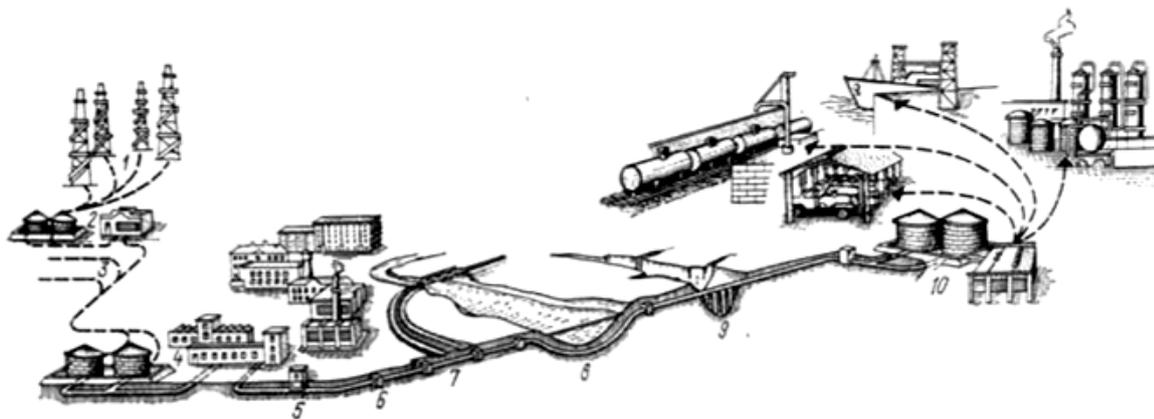


Рис. 5. Схема магистрального нефтепровода:

- 1 – промысел; 2 – нефтесборный пункт; 3 – подводные трубопроводы;
 4 – головные сооружения (резервуары, насосная, электростанция и др.); 5 – узел спуска скребка;
 6 – линейный колодезь; 7 – переход под железной дорогой; 8 – подводный переход через реку;
 9 – наземный переход через овраг (ручей); 10 – конечный распределительный пункт

К магистральным нефтепроводам относятся трубопроводы в диаметре от 529 до 1 220 мм и протяженностью не менее 50 км, предназначенные для доставки нефти из районов добычи на нефтеперерабатывающие заводы или пункты налива нефти в железнодорожные вагоны-цистерны или в места погрузки ее на танкеры. Производительность таких магистральных нефтепроводов составляет примерно от 0,7 до 80 млн т нефти в сутки.

К магистральным нефтепродуктопроводам относятся трубопроводы диаметром не менее 219 мм и протяженностью не менее 50 км, предназначенные для транспортировки нефтепродуктов из районов их производства и перевалочных нефтебаз в районы потребления – до распределительных нефтебаз, наливных станций, портов, крупных промышленных предприятий, ТЭЦ и др.

У трубопроводного способа есть множество плюсов: это наиболее низкая себестоимость перекачки, высокая производительность труда, бесперебойная поставка в течение года, прак-

тически не зависящая от климатических условий, сравнительно короткие сроки строительства, незначительные потери нефти, газа и нефтепродуктов при перекачке, возможность перекачки нескольких сортов нефти и нефтепродуктов по одному трубопроводу, возможность наращивания пропускной способности трубопровода за счет строительства дополнительных насосных станций, компрессорных станций и прокладки параллельных участков (лупингов), небольшие удельные капитальные вложения на единицу транспортируемого груза и быстрая окупаемость затрат при строительстве трубопроводов.

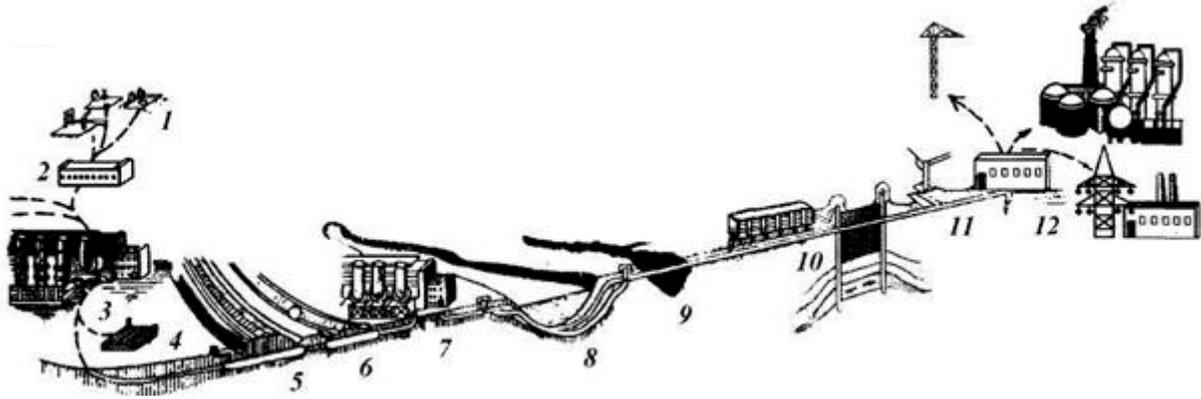


Рис. 6. Схема магистрального газопровода

- 1 – промысел; 2 – газосборный пункт; 3 – головная КС с очистными устройствами; 4 – отвод к ГРС;
 5, 6 – переходы через железную и шоссейную дорогу; 7 – промежуточная КС;
 8, 9 – переходы через реку и овраги; 10 – подземное газохранилище; 11 – станция катодной защиты;
 12 – конечная ГРС

Но этот способ не идеален, необходимы крупные единовременные капитальные вложения в строительство (необходимо сразу проложить весь трубопровод) и потребность в крупных материальных затратах на заполнение всего трубопровода нефтью или нефтепродуктом при вводе в эксплуатацию. Особенно велики эти затраты для магистральных нефтепродуктопроводов. Также свою роль играет большая металлоемкость и необходимость устойчивого грузопотока на длительное время, к тому же в трубопроводах небольшая скорость движения нефти и нефтепродуктов (5–10 км/ч).

Проведя сравнительный анализ всех вышеперечисленных способов транспортировки нефти, газа и нефтепродуктов, можно сделать вывод, что для Камчатки наиболее подходящим методом является трубопроводный. К сожалению, для Камчатки характерны отсутствие железнодорожного сообщения, почти полное отсутствие судоходных рек (исключение: р. Камчатка остается единственной рекой района, которая имеет судоходное значение. Сегодня Камчатку используют в судоходных целях на 200 км от устья), недостаток дорог в хорошем состоянии, отсутствие хорошей дорожной связи со многими районами и, конечно, неэкономичность использования воздушного транспорта в целях перевозки нефти и нефтепродуктов. Все это делает трубопроводный транспорт наиболее востребованным в этом районе.

Литература

1. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: Учебник для вузов. – Изд. второе, дополн. и исправл. – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2002. – 544 с.
2. Беляева В.Я. Нефтегазовое строительство: Учебное пособие для студентов вузов / Под общ. ред. проф. И.И. Мазура и проф. В.Д. Шапиро. – М.: ОМЕГА-Л, 2005. – 744 с.
3. Вайшток С.М., Новоселов В.В., Прохоров А.Д. Трубопроводный транспорт нефти. Т. 1 – 2002.

УДК 621.833

С.В. Шевченко, А.А. Муховатый*Луганский национальный университет им. Владимира Даля,**Луганск, 91034**e-mail: mukhovatyi@mail.ru***ВАРИАНТЫ РАЗБИВКИ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА РЕДУКТОРА Ц2с ПО СТУПЕНЯМ**

Рассмотрены два варианта разбивки общего передаточного числа U двухступенчатого соосного редуктора Ц2с по ступеням – по условию равнопрочности ступеней и по конструктивному признаку. На основе сравнительного анализа численных результатов рекомендован вариант разбивки U по конструктивному признаку как более параметрически универсальный. Для использования разработанного метода определения передаточных чисел ступеней редукторов типа Ц2с предложена аналитическая зависимость, позволяющая обеспечить уровень нагружения обеих ступеней, близкий к максимально возможному.

Ключевые слова: передаточное число, ступень редуктора, контактная выносливость, равнопрочность, межосевое расстояние.

S.V. Shevchenko, A.A. Mukhovaty*Luhansk National University named after Vladimir Dal,**Lugansk, 91034**e-mail: mukhovatyi@mail.ru***OPTIONS OF GEAR BOX C2C RATIO GRADING**

Two variants of overall ratio U grading of two stage coaxial gear box C2c by the terms of grade strength balance and design feature are considered. On the basis of the numerical results comparative analysis the variant of U grading on design feature as more parametrically universal is recommended. To use the developed method for determining the gear box C2c ratios an analytical dependence is proposed, which allows to ensure the level of loading of both grades close to the maximum possible.

Key words: ratio, gear grade, contact endurance, strength balance, offset.

Распределение передаточного числа U многоступенчатых редукторов по ступеням, ($U = U_1 \cdot U_2$) во многом предопределяет не только показатели их работоспособности, но и экономические характеристики. Этой проблематике применительно к двухступенчатым редукторам Ц2, КЦ, ЧЦ, ЦЧ, Ч2 посвящены работы [1–4].

Конструктивная особенность двухступенчатого цилиндрического соосного редуктора (Ц2с) заключается в том, что межосевые расстояния быстроходной (первой) ступени, передающей меньшие крутящие моменты, и тихоходной (второй) ступени, где действуют большие крутящие моменты, одинаковы: $a_{w1} = a_{w2} = a_w$ (рис. 1). В результате этого быстроходная ступень получается недогруженной по главному критерию работоспособности – контактной выносливости зубьев, что является недостатком данного типа редукторов.

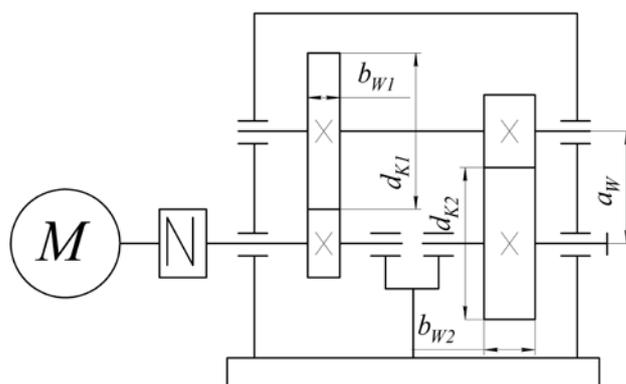


Рис. 1. Кинематическая схема редуктора типа Ц2с

Существующая рекомендация

$$U_2 \approx 0,95 \cdot \sqrt{U}, \quad U_1 = U / U_2,$$

как показывают расчеты, дает примерное равенство диаметров колес обеих ступеней d_{K1} и d_{K2} , что благоприятствует условиям их смазки. Однако между расчетными (σ_H) и допускаемыми ($[\sigma_H]$) контактными напряжениями в зубьях при такой разбивке U имеют место следующие неудовлетворительные соотношения:

$$\sigma_{H2} \approx [\sigma_H]_2; \quad \sigma_{H1} \ll [\sigma_H]_1.$$

Это свидетельствует о нерациональном использовании несущей способности быстроходной ступени редуктора по главному критерию работоспособности. В настоящей статье предлагаются иные способы разбивки U редуктора Ц2с по ступеням:

I) по условию равнопрочности ступеней ($\sigma_{H1} = \sigma_{H2}$);

II) по конструктивному признаку редуктора ($a_{w1} = a_{w2} = a_w$).

I. Условие равнопрочности ступеней редуктора Ц2с рассмотрим применительно к основному критерию работоспособности косозубых цилиндрических передач – контактной выносливости: $\sigma_{H1} = \sigma_{H2}$. Напряжения $\sigma_{H(i)}$, ($i=1,2$), [5], подставленные в условие $\sigma_{H1} = \sigma_{H2}$, приводят к следующему равенству:

$$\frac{Z_M \cdot Z_{H1} \cdot Z_{\varepsilon 1}}{a_{w1} \cdot U_1} \cdot \sqrt{\frac{K_H \cdot T_{K1} \cdot (U_1 + 1)^3}{b_{w1}}} = \frac{Z_M \cdot Z_{H1} \cdot Z_{\varepsilon 2}}{a_{w2} \cdot U_2} \cdot \sqrt{\frac{K_H \cdot T_{K2} \cdot (U_2 + 1)^3}{b_{w2}}}, \quad (1)$$

где параметры с индексом “1” относятся к быстроходной ступени редуктора, с индексом “2” – к тихоходной ступени.

Определимся с параметрами, входящими в уравнение (1). По условию компоновки редуктора Ц2с межосевые расстояния обеих ступеней равны: $a_{w1} = a_{w2} = a_w$. Ширину зубчатых зацеплений b_{wi} , ($i=1,2$), выразим через a_w : $b_{w1} = \psi_{ba1} \cdot a_w$; $b_{w2} = \psi_{ba2} \cdot a_w$. Коэффициенты влияния углов наклона зубьев (Z_{Hi}) и многопарности зацепления ($Z_{\varepsilon i}$) для 1-й и 2-й ступеней редуктора отличаются незначительно, поэтому для упрощения расчетов примем их одинаковыми: $Z_{H1} \approx Z_{H2}$; $Z_{\varepsilon 1} \approx Z_{\varepsilon 2}$. Связь между крутящими моментами на колесах 1-й и 2-й ступеней:

$$T_{K2} = T_{K1} \cdot U_2 \cdot \eta,$$

где η – КПД закрытой цилиндрической передачи; (принято $\eta_1 \approx \eta_2 \approx 0,97$).

После подстановки этих соотношений в уравнение (1) и соответствующих преобразований оно принимает следующий вид:

$$\psi_{ba2} \cdot (U + U_2)^3 - \psi_{ba1} \cdot U^2 \cdot (U_2 + 1)^3 \cdot \eta = 0. \quad (2)$$

Полученное кубическое уравнение (2) решаем относительно параметра U_2 , задаваясь значениями U , ψ_{ba1} , ψ_{ba2} . Для наглядности эти решения при двух сочетаниях коэффициентов $[\psi_{ba1}; \psi_{ba2}]$ представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Разбивка U при $\psi_{ba1} = 0,2$; $\psi_{ba2} = 0,4$

| | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| U | 4 | 7 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 |
| U_2 | 2,04 | 2,18 | 2,39 | 2,57 | 2,75 | 2,9 | 3,05 |
| U_1 | 1,96 | 3,21 | 4,19 | 5,05 | 5,83 | 6,54 | >7 |

Таблица 2

Разбивка U при $\psi_{ba1} = 0,2$; $\psi_{ba2} = 0,5$

| | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| U | 4 | 7 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 |
| U_2 | 2,56 | 2,58 | 2,76 | 2,94 | 3,11 | 3,28 | 3,43 |
| U_1 | 1,56 | 2,12 | 3,63 | 4,42 | 5,14 | 5,8 | 6,42 |

Табулированные значения U_2 аппроксимированы степенной зависимостью $U_2 \approx k \cdot U^r$, где

$$k = 1,4; \quad r = 0,24 \quad \text{для } \psi_{ba1} = 0,2; \quad \psi_{ba2} = 0,4;$$

$$k = 1,89; \quad r = 0,18 \quad \text{для } \psi_{ba1} = 0,2; \quad \psi_{ba2} = 0,5.$$

П) Для разбивки U по ступеням редуктора Ц2с по конструктивному признаку: $a_{w1} = a_{w2} = a_w$, используем зависимость для этого параметра из проектного расчета косозубой цилиндрической передачи:

$$a_w(i) = 430 \cdot (U_i + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot T_{K(i)}}{\psi_{ba(i)} \cdot U_i^2 \cdot [\sigma_H]_i^2}}, \quad (i=1, 2). \quad (3)$$

Подставляя выражение (3) в исходное условие разбивки $a_{w1} = a_{w2}$ (для $i=1$ и $i=2$), с учетом соотношений

$$T_{K2} = \frac{T_{K3}}{(U_2 \cdot \eta)}; \quad U_1 = \frac{U}{U_2},$$

после преобразований получим искомую функцию вида $U_2 = U_2(U)$:

$$U_2 = \frac{C_2 \cdot \sqrt[3]{U^2} - C_1 \cdot U}{C_1 - C_2 \cdot \sqrt[3]{U^2}}, \quad (4)$$

где $C_1 = \frac{1}{\sqrt[3]{\psi_{ba1} \cdot [\sigma_H]_1^2 \cdot \eta}}$; $C_2 = \frac{1}{\sqrt[3]{\psi_{ba2} \cdot [\sigma_H]_2^2}}$.

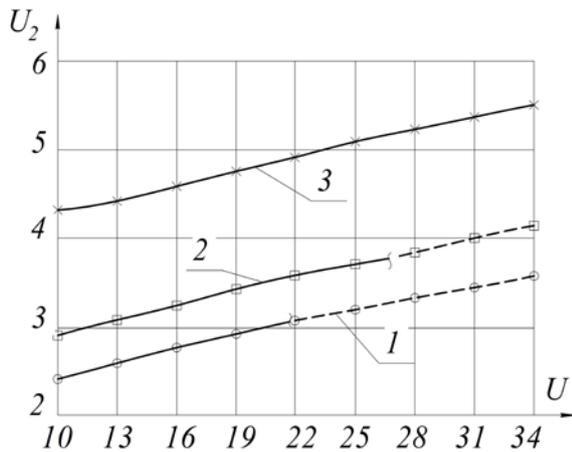


Рис. 2. Зависимость $U_2 = U_2(U)$, полученная для $\psi_{ba1} = 0,2$ и $\psi_{ba2} = 0,4$ по конструктивному признаку редуктора $a_{w1} = a_{w2} = a_w$

Обозначения кривых: 1 – обе ступени редуктора “мягкие”;
2 – 1-я ступень “мягкая”,
3 – 1-я ступень “мягкая”, 2-я ступень “твердая”.

$$\psi_{ba1} = 0,2; \quad \psi_{ba2} = 0,4; \quad [\sigma_H]_1 = [\sigma_H]_2 = 562 \text{ МПа (обе ступени “мягкие”).}$$

На основании сравнительного анализа результатов разбивки U по предложенным двум вариантам можно сделать следующие выводы.

Выводы

Из двух рассмотренных вариантов разбивки передаточного числа редуктора Ц2с по ступеням можно рекомендовать вариант П, то есть $a_{w1} = a_{w2} = a_w$ (формула (4)). Он более универсален, так как кроме коэффициентов ширины ψ_{ba1} и ψ_{ba2} , которые входят и в вариант равнопроч-

Результаты расчетов функции (4) представлены на графиках, рис. 2, где в координатах $U \rightarrow U_2$ даны значения U_2 для некоторых сочетаний параметров ψ_{ba1} , ψ_{ba2} , $[\sigma_H]_1$, $[\sigma_H]_2$. При иных численных значениях этих параметров расчет U_2 следует вести по формуле (4), после чего находится соответствующая ей величина $U_1 = U / U_2$. Пунктирные участки кривых $U_2 = U_2(U)$ на рис. 2 обозначают нерациональные области значений U , в которых $U_1 > 7$, что не рекомендуется для силовых цилиндрических передач.

Следует обратить внимание на совпадение численных величин U_2 (а значит и $U_1 = U / U_2$) по обоим вариантам разбивки U в табл. 1 и на кривой 1 (рис. 2). Это свидетельствует о том, что при определенных сочетаниях значений ψ_{ba1} , ψ_{ba2} , $[\sigma_H]_1$, $[\sigma_H]_2$ оба условия разбивки U выполняются одновременно. В данном случае это имеет место при:

ности $\sigma_{H1} = \sigma_{H2}$, он содержит допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H]_1$, $[\sigma_H]_2$ и КПД передач (η). Результатом данного способа разбивки передаточного числа редуктора Ц2с будет более рациональное использование нагрузочной способности его ступеней по критерию контактной выносливости зубьев.

Литература

1. Кошелев П.М. О разбивке передаточного числа редукторов // Вестник машиностроения. – М.: 1966. – С. 23–26.
2. Шевченко С.В., Ковтун А.С. Критериальная разбивка общего передаточного числа редуктора ЧЦ по ступеням // Подъемно-транспортная техника. – Днепропетровск, 2009. – № 3. – С. 87–96.
3. Шевченко С.В., Ткач П.Н. Параметрическая оптимизация цилиндро-червячных редукторов // Подъемно-транспортная техника. – Днепропетровск, 2011. – № 2. – С. 18–25.
4. Шевченко С.В., Муховатый А.А. Разбивка передаточного числа двухступенчатого червячного редуктора по ступеням // Modern problems of theory of machines / SEC “MS”. – North Charleston, USA. – 2016. – № 4(1). – P. 60–64.
5. Машиностроение. Энциклопедия. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. Т. IV-1 / Д.Н. Решетов, А.П. Гусенков, Ю.Н. Дроздов и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 864 с.

СЕКЦИЯ 6. НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ СУДОВ И СУДОВЫХ АГРЕГАТОВ

УДК 621.9: 658.5

Т.Г. Ивченко, А.Н. Михайлов, О.Ю. Пащук

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001
e-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua*

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТОЧЕНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОТС

Представлены результаты оценки возможностей интенсификации режимов резания и повышения производительности при точении труднообрабатываемых материалов за счет повышения стойкости режущего инструмента и снижения температуры резания при использовании смазочно-охлаждающих технологических сред.

Ключевые слова: труднообрабатываемые материалы, смазочно-охлаждающая среда, температура резания, стойкость, производительность.

T.G. Ivchenko, A.N. Mikhailov, O.Yu. Pashchuk

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283001
e-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua*

IMPROVEMENT OF HARD-TO-CUT MATERIAL TURNING RATE WITH REFRIGERANT APPLICATION

The results of the estimating of the cutting regime intensification possibilities and hard-to-cut material turning rate improvement by increasing tool life and reducing cutting temperatures with refrigerant application are presented.

Key word: hard-to-cut material, refrigerant, cutting temperature, tool life, rate.

В основных деталях и узлах современных машин широко используются специальные марки нержавеющей, жаропрочных и высокопрочных сталей и сплавов. Низкая теплопроводность и высокая прочность этих материалов определяют низкую обрабатываемость резанием, что приводит к высокой трудоемкости их обработки.

Использование смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) – наиболее эффективный способ повышения производительности и снижения себестоимости обработки труднообрабатываемых материалов [1]. В настоящее время накоплен достаточный опыт обработки резанием труднообрабатываемых материалов [2]. Однако большое разнообразие самих СОТС и способов их подачи в зону резания весьма затрудняет обоснование эффективности выбора СОТС для различных условий обработки.

При анализе эффективности СОТС наиболее распространены критерии повышения стойкости, снижения сил и температур резания, уменьшения шероховатости обработанной поверхности, определяемые, как правило, экспериментальным путем [3]. Достаточно хорошо разработана методика учета действия СОТС в расчетах тепловых потоков и температур в зоне резания [4], позволяющая теоретически для любых условий обработки оценивать возможности различных СОТС по снижению температуры резания. Однако изменение указанных параметров процесса резания не является достаточным для обоснования эффективности СОТС.

Наиболее объективной является количественная оценка эффективности использования СОТС по критериям повышения производительности и снижения себестоимости в различных условиях обработки, выполняемая на основании оптимизации режимов резания [5]. Представляет интерес дальнейшее развитие этой методики применительно к труднообрабатываемым материалам.

Цель работы – оценка возможностей повышения производительности при точении трудно-обрабатываемых материалов за счет использования СОТС.

В представляемой работе эффективность оценивается на основе оптимизации режимов резания по критерию повышения производительности при заданном уровне качества обработки. Целевая функция, выражающая зависимость критерия оптимизации – максимальной производительности P от скорости резания V и подачи S – представляется в виде: $P(V, S) = VS \rightarrow \max$ [5].

Основные использованные технические ограничения: по режущим возможностям инструмента, по температуре резания, по прочности режущей пластины и по шероховатости обработанной поверхности. На основании установленных (с использованием метода линейного программирования) аналитических зависимостей оптимальных подач S_o и скоростей резания V_o от параметров черновой и чистовой обработки [5] определены коэффициенты интенсификации режимов резания при применении СОТС.

Коэффициенты повышения подач при черновой K_{S1} и чистовой K_{S2} обработке:

$$K_{S1} = K_{Pz}^{-1/y_p}; \quad K_{S2} = K_R^{-1/y_r}; \quad (1)$$

где K_{Pz} ; K_R – коэффициенты снижения силы резания P_Z и шероховатости обработанной поверхности R_a при использовании СОТС;

y_p , y_r – показатели степени, учитывающие влияние подачи S на силу резания P_Z и шероховатость обработанной поверхности R_a .

Коэффициенты повышения скоростей резания при черновой K_{V1} и чистовой K_{V2} обработке:

$$K_{V1} = \begin{cases} K_{\Theta}^{-1/n_t} K_T^m K_{Pz}^{y_t/y_p n_t}, & \text{при } K_{\Theta o1} \leq 1; \\ K_T^m K_{Pz}^{y_t/y_p}, & \text{при } K_{\Theta o1} \geq 1; \end{cases} \quad K_{V2} = \begin{cases} K_{\Theta}^{-1/n_t} K_T^m K_R^{y_t/y_r n_t}, & \text{при } K_{\Theta o2} \leq 1; \\ K_T^m K_R^{y_t/y_r}, & \text{при } K_{\Theta o2} \geq 1; \end{cases} \quad (2)$$

$$K_{\Theta o1} = \Theta / C_{\Theta} K_{\Theta} t^{x_t} (C_V K_V K_T^m / T^m t^{x_v})^{n_t} (34c^{1.3} K_{\Phi} / C_P K_{Pz} t^{(x_p-0.77)})^{(y_v n_t - y_t)/y_p};$$

$$K_{\Theta o2} = \Theta / C_{\Theta} K_{\Theta} t^{x_t} (C_V K_V K_T^m / T^m t^{x_v})^{n_t} (R_a / C_R K_R)^{(y_v n_t - y_t)/y_r},$$

где $K_{\Theta o1}$, $K_{\Theta o2}$ – граничные значения коэффициентов снижения температуры резания Θ , определяющие необходимость учета температурных ограничений при расчете оптимальной скорости резания V_o по критерию производительности при черновой и чистовой обработке;

$\Theta = 800^{\circ}\text{C}$ – допустимая температура резания;

C_V , K_V – коэффициенты и x_v , y_v , m – показатели, характеризующие степень влияния глубины t , подачи S и стойкости T на скорость резания V ;

C_P – коэффициент и x_p – показатель, характеризующий степень влияния глубины t на силу резания P_Z ; c – толщина пластины;

$K_{\Phi} = (\sin 60^{\circ} / \sin \varphi)^{0.8}$ – коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане φ на силу резания P_Z ;

C_{Θ} – коэффициент и n_t , y_t , x_t – показатели степени, учитывающие влияние скорости резания V , подачи S и глубины резания t на температуру резания Θ ;

C_R – коэффициент, учитывающий влияние подачи S на шероховатость обработанной поверхности R_a .

На основании установленных коэффициентов интенсификации режимов резания – подачи S и скорости V (2) – могут быть определены коэффициенты повышения производительности $K_P = P(V, S) / P(V, S)_{\text{СОТС}}$ при черновой K_{P1} и чистовой K_{P2} обработке:

$$K_{P1} = \begin{cases} K_{\Theta}^{n_t} K_T^m K_{Pz}^{y_p n_t}, & \text{при } K_{\Theta o1} \leq 1; \\ K_T^m K_{Pz}^{y_p}, & \text{при } K_{\Theta o1} \geq 1; \end{cases} \quad K_{P2} = \begin{cases} K_{\Theta}^{n_t} K_T^m K_R^{y_r n_t}, & \text{при } K_{\Theta o2} \leq 1; \\ K_T^m K_R^{y_r}, & \text{при } K_{\Theta o2} \geq 1. \end{cases} \quad (3)$$

Для расчета указанных коэффициентов повышения производительности K_P используются показатели степени влияния глубины, подачи и скорости резания в стойкостных, силовых и температурных зависимостях, представляемые в справочно-нормативной литературе или определяемые экспериментально.

Коэффициенты повышения стойкости режущего инструмента K_T , снижения температуры резания K_Θ , силы резания K_{Pz} и шероховатости обработанной поверхности K_R при использовании СОТС определяются расчетным или экспериментальным путем.

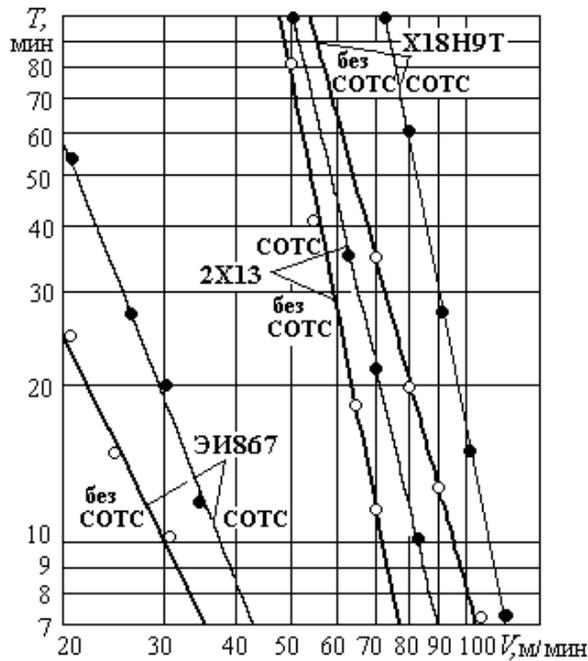


Рис. 1. Графики зависимости стойкости T от скорости V при обработке различных материалов

Закономерности изменения стойкости инструмента T от скорости резания V при точении различных труднообрабатываемых материалов с применением СОТС, представлены на рис. 1.

Условия проведения экспериментов: обрабатываемый материал – нержавеющая сталь X18H9T и сталь 2X13, жаропрочный сплав ЭИ867; инструментальный материал – твердый сплав ВК8; геометрические параметры – главный угол в плане $\phi = 45^\circ$, передний угол $\gamma = 12^\circ$; глубина резания $t = 3$ мм, подача $S = 0,3$ мм/об [3].

В экспериментах в качестве СОТС использовалась 5%-ная водная эмульсия из эмульсола СДМ,у, представляющего собой безводную систему, содержащую масло, сульфат натрия, растворимые ингибиторы коррозии и небольшое количество (до 3%) дисульфида молибдена, прошедшего ультразвуковую обработку, с усиленным смазывающим действием. Подача СОТС в зону резания осуществлялась поливом.

Установленные на основании стойкостных испытаний взаимосвязи скорости резания V с параметрами обработки представлены в табл. 1, коэффициенты повышения стойкости K_T при использовании СОТС указаны в табл. 2.

Таблица 1

Результаты анализа взаимосвязей между параметрами обработки при точении труднообрабатываемых материалов с использованием СОТС

| № п/п | Обрабатываемый материал | Установленные взаимосвязи между параметрами обработки при точении труднообрабатываемых материалов с использованием СОТС | | | |
|-------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|
| | | скорость резания | температура резания | сила резания | шероховатость |
| 1 | сталь X18H9T | $V = 150/(K_T T)^{0,25} S^{0,15} t^{0,15}$ | $\Theta = 57,6 K_\Theta V^{0,71} S^{0,46} t^{0,1}$ | $P_z = 3400 K_{Pz} t^{0,95} S^{0,75} V^{-0,15}$ | $R_a = 197 K_R S^{1,8} V^{-0,26}$ |
| 2 | сталь 2X13 | $V = 210/(K_T T)^{0,25} S^{0,15} t^{0,15}$ | $\Theta = 32,0 K_\Theta V^{0,84} S^{0,16} t^{0,1}$ | $P_z = 3250 K_{Pz} t^{0,95} S^{0,75} V^{-0,15}$ | $R_a = 197 K_R S^{1,8} V^{-0,26}$ |
| 3 | сплав ЭИ 867 | $V = 38/(K_T T)^{0,35} S^{0,15} t^{0,15}$ | $\Theta = 256 K_\Theta V^{0,54} S^{0,39} t^{0,1}$ | $P_z = 8000 K_{Pz} t^{0,95} S^{0,75} V^{-0,15}$ | $R_a = 197 K_R S^{1,8} V^{-0,26}$ |

Таблица 2

Оценка эффективности точения труднообрабатываемых материалов с использованием СОТС

| № п/п | Обрабатываемый материал | Коэффициенты повышения эффективности точения труднообрабатываемых материалов с использованием СОТС | | | | | |
|-------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| | | повышения стойкости K_T | снижения температуры K_Θ | повышения скорости | | повышения производительности | |
| | | | | K_{V1} (черновая) | K_{V2} (чистовая) | K_{P1} (черновая) | K_{P2} (чистовая) |
| 1 | сталь X18H9T | 2,5 | 0,8 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,8 |
| 2 | сталь 2X13 | 2,2 | 0,8 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 |
| 3 | сплав ЭИ 867 | 2 | 0,85 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 |

Закономерности изменения температуры резания в зависимости от режимов токарной обработки труднообрабатываемых материалов с применением СОТС, устанавливаются на основании теоретических исследований в соответствии с методикой [4].

Результаты расчетов температуры резания Θ в зависимости от скорости резания V при обработке различных труднообрабатываемых материалов без СОТС и с использованием СОТС

(для указанных ранее условий обработки) представлены на рис. 2. Установленные на их основании взаимосвязи температуры резания Θ с параметрами обработки представлены в табл. 1, коэффициенты снижения температуры резания K_{Θ} при использовании СОТС указаны в табл. 2.

В результате экспериментальных исследований [3] определены зависимости силы резания P_z и шероховатости обработанной поверхности R_a от режимов обработки с применением СОТС. Установленные на их основании взаимосвязи силы резания P_z и шероховатости обработанной поверхности R_a с параметрами обработки представлены в табл. 1.

Коэффициенты снижения силы резания $K_{P_z} = 0,95$ и шероховатости обработанной поверхности $K_R = 0,85$ практически одинаковы для всех исследованных материалов.

Рассчитанные коэффициенты повышения подач (1) при черновой обработке $K_{S1} = 1,07$ и при чистовой обработке $K_{S2} = 1,09$.

Рассчитанные коэффициенты повышения скоростей резания (2) и производительности (3) при черновой обработке K_{V1} и K_{P1} ; при чистовой обработке K_{V2} и K_{P2} представлены в табл. 2.

Таким образом, на основании выполненных исследований установлены коэффициенты интенсификации режимов резания, повышения стойкости, снижения силы резания, температуры резания и шероховатости обработанной поверхности, а также коэффициенты повышения производительности обработки труднообрабатываемых материалов при использовании СОТС.

Установлено, что применение СОТС позволяет до 1,8 раза повысить производительность обработки нержавеющей сталей и до 1,9 раза жаропрочных сплавов.

Разработанная методика оценки возможностей повышения производительности при применении СОТС может быть использована для любых видов обработки.

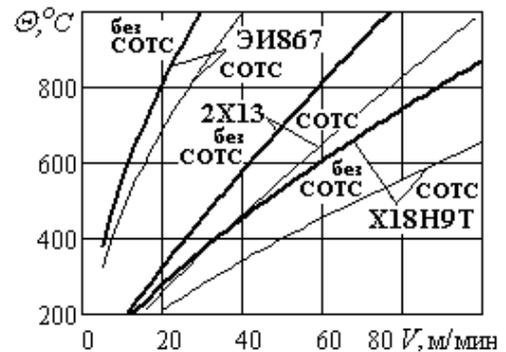


Рис. 2. Графики зависимости температуры резания Θ от скорости V при обработке различных материалов

Литература

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжев и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
2. Гуревич В.Я. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
3. Богуславский, В.А., Ивченко Т.Г. Интенсификация процесса резания нержавеющей сталей при использовании СОТС // Производительность и надежность технологических систем в машиностроении: Сборник научных трудов. – Москва – Тула: ТулГУ, 2015. – С. 188–193.
4. Ивченко Т.Г. Расчет тепловых потоков и температур резания при точении с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – № 26. – С. 90–96.
5. Ивченко Т.Г. Оценка возможностей повышения эффективности обработки при использовании СОТС // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 1 (60). – С. 37–43.

УДК 621.9.04

С.А. Матвиенко

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ДЕТАЛЬ

В статье рассмотрены виды и условия воздействия эксплуатационных факторов на состояние поверхностного слоя рабочих поверхностей деталей, представлена классификация процессов, протекающих в поверхностном слое детали в условиях воздействия эксплуатационных факторов.

Ключевые слова: служебное назначение, эксплуатационные факторы, поверхность, свойства, качество.

S.A. Matvienko

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283001
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

ANALYSIS OF OPERATIONAL FACTORS IMPACT ON ELEMENT

The types and conditions of operational factors impact on the state of the surface layer of the elements working surfaces are considered in the article. The classification of processes occurring in the surface layer of the element under the influence of operational factors is presented.

Key words: service purpose, operational factors, surface, properties, quality.

Введение

Служебное назначение детали определяется функциями, выполняемыми деталью в изделии. Функция детали является суммарной составляющей функций ее рабочих и базирующих поверхностей. Анализ служебного назначения и особенностей воздействия соответствующих эксплуатационных факторов на качество функциональных поверхностей детали при выполнении ею своего служебного назначения является важнейшей научной задачей. Ее решение позволит обеспечить оптимальный срок службы деталей за счет формирования качества поверхностного слоя, обеспечивающего соответствующие эксплуатационные свойства.

Цель статьи

Определить влияние условий эксплуатации изделия, обусловленных его служебным назначением, на качество поверхностного слоя и эксплуатационные свойства функциональных поверхностей.

Основная часть

Выбор способа технологического воздействия на рабочую поверхность деталей обуславливается функциональным назначением этих поверхностей и их элементов. Условия эксплуатации, технологические воздействия и эксплуатационные свойства детали взаимосвязаны между собой [1]. Схема анализа детали при выборе способа отделочно-упрочняющей обработки представлена на рис. 1. Согласно структурно-логической схеме обеспечение функциональных параметров изделия при формировании поверхностного слоя характеризуется эксплуатационными связями. Эти характеристики зависят от параметров качества и эксплуатационных факторов, возникающих в процессе эксплуатации изделия.

По признаку служебного назначения все поверхности деталей делятся на базовые; участвующие в рабочем процессе (функциональные); выполняющие роль базовых и функциональных.

По характеру рабочих процессов функции поверхностей, в которых участвуют детали при эксплуатации, делятся на передачу (получение) движения (вращательного, поступательного, сложного); передачу (получение) усилия (нагрузки).

Классификация поверхностей деталей по способу формообразования, по виду разрушения, по внешнему воздействию, по функциональному назначению и характеру разрушений представлена в [2].

Функциональные поверхности классифицируют: по характеру формирования на модифицированные, наложенные (наращенные) и комбинированные; по характеру приоритетного эксплуатационного свойства на износостойкие, антифрикционные, коррозионностойкие, жаростойкие и т. д.



Рис. 1. Структурно-логическая схема

Поверхностный слой рабочих поверхностей характеризуется следующими параметрами: толщиной, твердостью, напряженным состоянием, физико-химическим составом, адгезионной прочностью и функциональными (эксплуатационными) свойствами [3].

При выполнении деталью своей функции в процессе эксплуатации рабочие поверхности и их функциональные элементы подвергаются определенным видам воздействий, которые оказывают различное влияние на техническое состояние поверхностного слоя (рис. 2).

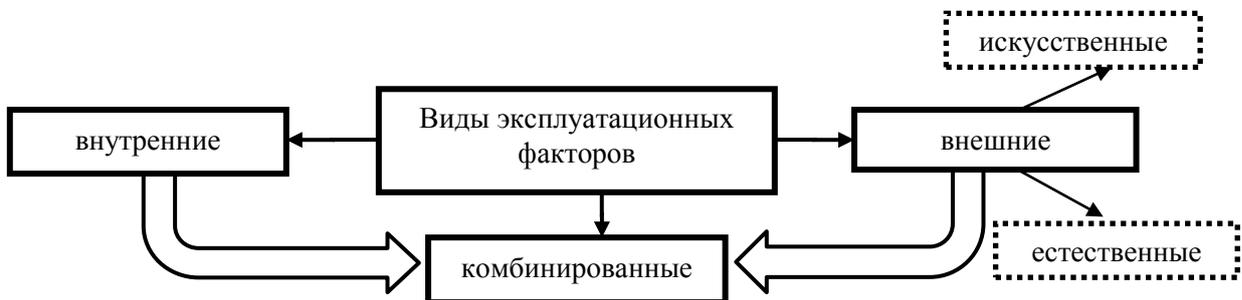


Рис. 2. Виды эксплуатационных воздействий

К внешним факторам относятся процессы воздействия рабочей (окружающей) среды на деталь, возникающие в процессе ее эксплуатации, а к факторам внутреннего воздействия относятся процессы изменения качества детали во времени (старение, изнашивание). В результате воздействия внутренних факторов происходит изменение качества поверхностного слоя и, как следствие, ухудшение эксплуатационных свойств.

К искусственным внешним факторам относятся: механические, гидромеханические, термические, акустические, аэродинамические, электрические, электромагнитные и др.

К естественным внешним относятся факторы, вызванные воздействием окружающей среды: коррозия, температура окружающей среды и ее изменения, химический состав и загрязнение среды, радиация, электромагнитное поле, гравитационное поле, микроорганизмы и т. д.

Классификация процессов, протекающих в поверхностном слое детали в условиях воздействия эксплуатационных факторов, может быть проведена по следующим признакам [4–6]:

- по марке материала детали;
- виду энергии, определяющей характер процесса (механическая, тепловая, электрическая, химическая, электромагнитная, акустическая, лучевая, ядерная);
- типу эксплуатационного воздействия (силовое, температурное, трение);
- характеру (внутреннему механизму) процесса;
- по режиму активной эксплуатации;
- по виду изменений, вызываемых в материале детали;
- по протеканию разных физико-химических и физико-механических процессов в поверхностном слое (быстротекущие, средней скорости и медленнотекущие).

При неравномерном распределении возмущающих воздействий при изотропности параметров качества поверхностного слоя имеет место анизотропность эксплуатационных свойств поверхности [6].

Переменными факторами в процессе трения являются: давление в зоне фрикционного контакта, скорость относительного перемещения и температура.

Изменение качества поверхностного слоя функциональных элементов рабочих поверхностей деталей обусловлено энергетическим воздействием. Обеспечив соответствие видов энергий эксплуатационных технологических воздействий при отделочно-упрочняющей обработке можно достичь уменьшения износа при приработке [7, 8].

Эксплуатационные свойства деталей способствуют выполнению деталью своего служебного назначения при заданном ресурсе и воздействии эксплуатационных факторов. Основными эксплуатационными свойствами деталей являются: сопротивление усталости, износостойкость, коррозионная стойкость.

Согласно классической схеме, принято регламентировать комплексный параметр, объединяющий определенный набор параметров качества поверхностей, включающий параметры шероховатости, волнистости, макроотклонений, физико-механических свойств [9].

В процессе эксплуатации детали машин подвергаются воздействию комплекса эксплуатационных факторов, что при однородности качества ПС приводит к анизотропии эксплуатационных свойств поверхности в целом. Неравномерная «выработка» функциональных поверхностей обусловлена взаимодействием однородности качества ПС с нестабильностью условий эксплуатации. Для получения поверхностей с неравномерными эксплуатационными свойствами целесообразно использовать методы, позволяющие в процессе обработки варьировать управляющими факторами. В большинстве случаев условия эксплуатации деталей характеризуются неравномерным распределением эксплуатационных [6].

Для обеспечения изотропности эксплуатационных свойств по рабочей поверхности, необходимо технологическое обеспечение закономерного изменения соответствующих параметров качества поверхностного слоя. Изотропность эксплуатационных свойств формируемой поверхности обеспечивается за счет изменения значений факторов обработки по заданному закону при соблюдении принципов определенности, существования, управляемости, физической реализуемости [8].

Вывод

При выборе способа отделочно-упрочняющей обработки необходимо учитывать функциональное назначение детали, ее меру полезности, закон распределения по рабочей поверхности и условия воздействия эксплуатационных факторов

Литература

1. Функционально-ориентированные покрытия для повышения эксплуатационных свойств деталей машин / А.Н. Михайлов, Д.А. Михайлов, Р.М. Грубка, М.Г. Петров // Машиностроение

и техносфера XXI века: Сборник трудов XXII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14–19 сентября 2015 г. В 2 т. – Донецк: МСМ, 2015. – Т. 2. – С. 24–38.

2. Разработка классификатора поверхностей деталей для обеспечения синтеза функционально-ориентированных технологий отделочно-упрочняющей обработки / *А.Н. Михайлов, А.В. Лукичев, С.А. Матвиенко, Ю.Н. Стрельник, А.П. Пичко* // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2017. – Вып. 4 (59). – С. 31–36.

3. *Четвергов В.А., Овчаренко С.М.* Физические основы надежности: Конспект лекций / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2002. – 37 с.

4. *Артемов И.И., Савицкий В.Я., Сорокин С.А.* Моделирование изнашивания и прогнозирование ресурса трибосистем: Монография. – Пенза: Информ.-издат. центр Пензенского гос. ун-та, 2004. – 374 с.

5. *Нагоркин М.Н., Фёдоров В.П., Тотаи А.В.* Условия эксплуатации функциональных поверхностей трибоземлентов в типовых соединениях трения скольжения // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 6 (57). – С. 15–26.

6. *Суслов А.Г.* Функционально-ориентированные технологии обработки рабочих поверхностей деталей машин // Технология машиностроения и материалы. – 2014. – № 1(19). – С. 107–109.

7. *Васильев, А.Г.* Направленное формирование эксплуатационных свойств деталей в технологических средах // Вестник ЮУрГУ. – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 33–40.

8. Технологическое обеспечение параметров качества и эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин для эксплуатации в неоднородных условиях / *М.Н. Нагоркин, В.П. Фёдоров, Е.В. Ковалёва, М.П. Топорков* // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – № 1(52). – С. 136–145.

9. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / *А.Г. Суслов, В.П. Фёдоров, О.А. Горленко и др.*; Под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.

УДК 621.433

**А.Н. Михайлов¹, В.А. Михайлов¹, Д.А. Михайлов²,
А.В. Костенко³, А.П. Пичко¹, Н.С. Пичко⁴**

¹ *Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001;*

² *Академия гражданской защиты МЧС ДНР,
Донецк, 283050;*

³ *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003;*

⁴ *Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета,
Усинск, 169710*

e-mail: tm@fimm.donntu.org

НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПОВЫШЕНИИ РЕСУРСА ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СВОЙСТВ

В работе выполнен анализ особенностей эксплуатации элементов, узлов и подсистем газотурбинных двигателей и установок. Разработан общий подход и основные принципы повышения ресурса газотурбинных двигателей и установок. А также даны рекомендации по применению общего подхода в повышении ресурса газотурбинных двигателей и установок на основе обеспечения функционально-ориентированных свойств.

Ключевые слова: ресурс, газотурбинный двигатель, свойства, функциональная ориентация, технология.

**A.N. Mikhailov¹, V.A. Mikhailov¹, D.A. Mikhailov²,
A.V. Kostenko³, A.P. Pichko¹, N.S. Pichko⁴**

¹ *Donetsk National Technical University,
Donetsk, 83001;*

² *Academy of Civil Defense,
Donetsk, 83050;*

³ *Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003;*

⁴ *Usinsk Branch of Ukhta State Technical University,
Usinsk, 169710*

e-mail: tm@fimm.donntu.org

NEW TRENDS IN GAS-TURBINE ENGINES AND PLANTS OVERHAUL-PERIOD RENEWAL BASED ON THE FUNCTIONALLY ORIENTED PROPERTIES SUPPLY

The operation features of elements, assemblies and subsystems of gas turbine engines and units are analyzed. A general approach and basic principles of gas-turbine engines and plants overhaul-period renewal have been developed. And also guidance for use of a general approach gas-turbine engines and plants overhaul-period renewal based on the functionally oriented properties supply is given.

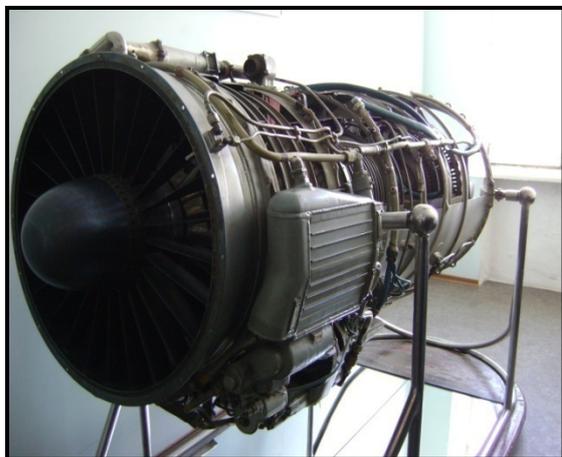
Key words: resource, gas turbine engine, properties, functional orientation, technology.

Введение

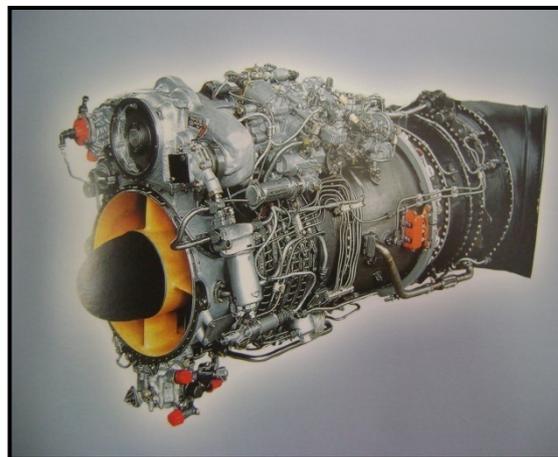
Научно-технический прогресс ставит перед машиностроителями все новые более сложные задачи, связанные с обеспечением качественно новой совокупностью свойств деталей машиностроения, автоматизацией производственных процессов, повышением эффективности производства, снижением себестоимости изготовления изделий, экологической безопасностью производства и решением других насущных проблем. Это обусловлено запросами общества, возможностями науки, техники и развитием экономики.

В настоящее время в народном хозяйстве широко используются газотурбинные двигатели (ГТД) [1] и газотурбинные установки (ГТУ) [2] для обеспечения определенных целевых функ-

ций машин и технологических систем различного назначения. ГТД (рис. 1) и ГТУ (рис. 2) применяются в авиации для самолетов и вертолетов, в судостроении для судовых силовых установок, в нефтегазовой промышленности как технологические системы, в транспортной промышленности для повышения эффективности работы тяжелых и высокоскоростных машин и других отраслях промышленности. Такое широкое использование ГТД и ГТУ обусловлено их высокой эффективностью и устойчивыми эксплуатационными параметрами работы, в том числе и в тяжелых и высокоскоростных условиях.



а



б

Рис. 1. Общий вид газотурбинных двигателей: а – авиационный двигатель модели АИ-25; б – вертолетный турбовальный двигатель модели ТВ3-117В



а



б

Рис. 2. Газотурбинная установка SGT 300 Tempest 7.9 МВт: а – общий вид установки; б – центральная часть установки

Вместе с тем следует заметить, что ГТД и ГТУ состоят из множества различных элементов, узлов и подсистем, которые имеют различный ресурс работы [3]. При выходе из строя необходимо выполнять их замену или производить ремонтные работы. Это снижает технико-экономические показатели этих систем в целом, не обеспечивает полное использование всех элементов, узлов и подсистем, а также не позволяет повышать их эксплуатационный потенциал. Это обусловлено множеством факторов и прежде всего тем, что на элементы, узлы и подсистемы действуют переменные во времени и в пространстве эксплуатационные функции, а именно эрозионные, коррозионные, термические, химические, физические и другие вредные воздействия. Эти неравномерности приводят к неравномерным и неодинаковым разрушениям технологических поверхностей, элементов, узлов и подсистем двигателей и установок, что снижает ресурс их работы в целом, а в ряде случаев, невозможности восстановления этих элементов, узлов и подсистем при ремонтных работах.

Выполненные исследования позволили сделать следующие основные выводы:

1. ГТД и ГТУ состоят из множества различных элементов, узлов и подсистем, которые имеют различный ресурс работы. При выходе из строя необходимо выполнять их замену или производить ремонтные работы. Это снижает технико-экономические показатели этих систем в целом, не обеспечивает полное использование всех элементов, узлов и подсистем, а также не позволяет повышать их эксплуатационный потенциал.

2. На элементы, узлы и подсистемы ГТД и ГТУ действуют переменные во времени и в пространстве эксплуатационные функции, а именно эрозионные, коррозионные, термические, химические, физические и другие вредные воздействия.

3. Эти неравномерности приводят к неравномерным и неодинаковым разрушениям технологических поверхностей, элементов, узлов и подсистем ГТД и ГТУ, что снижает ресурс их работы в целом, а в ряде случаев к невозможности восстановления этих элементов, узлов и подсистем при ремонтных работах.

На основании этих выводов в работе определена следующая цель работы.

Целью данной работы является повышение общего ресурса ГТД и ГТУ в условиях действия неравномерных эксплуатационных воздействий на их элементы, узлы и подсистемы на основе обеспечения равенства ресурсов, увеличения межремонтного ресурса и количества возможных восстановлений их элементной базы на основе обеспечения функционально-ориентированных свойств (ФОС) [4], реализуемых на базе принципов функционально-ориентированных технологий (ФОТ).

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие задачи:

1. Выполнить исследования особенностей эксплуатации элементов, узлов и подсистем ГТД и ГТУ.

2. Разработать общий подход и основные принципы повышения ресурса ГТД и ГТУ в условиях действия неравномерных эксплуатационных воздействий на их элементы, узлы и подсистемы.

3. Дать рекомендации по применению общего подхода в повышении ресурса ГТД и ГТУ на основе обеспечения функционально-ориентированных свойств элементов, узлов и подсистем за счет применения функционально-ориентированных технологий.

Эти задачи решаются в данной работе.

Общие положения

Выполненный анализ существующих вариантов структурных схем ГТД или ГТУ позволил свести все схемы к трем основным вариантам. Можно отметить, что ГТД или ГТУ состоят из множества структурных элементов, и он работает в сложных эксплуатационных условиях. При этом состав ГТД или ГТУ можно представить универсальной структурой. В частности, компрессор, турбина или свободная турбина имеют сложную структуру лопаток, поэтому в целом это сложные технические системы.

Если рассматривать работу ГТД или ГТУ, можно отметить то, что теоретически они работают в соответствии с идеальным термодинамическим циклом Брайтона. Однако на практике они работают по реальному термодинамическому циклу, который отличается от идеального наличием потерь в процессе сжатия, расширения и при подводе теплоты. При этом в процессе их работы, из-за сложных эксплуатационных воздействий среды на его элементы, узлы и подсистемы происходит эрозионное, коррозионное, абразивное, термическое, химическое разрушение поверхностного слоя деталей двигателя. Это приводит к возникновению еще большего отличия реального от идеального термодинамического цикла работы ГТД или ГТУ.

Выполненные исследования особенностей работы ГТД или ГТУ показывают, что структурные элементы разрушаются (изнашиваются) в процессе эксплуатации неравномерно. Это обусловлено особенностями их эксплуатации и различным характером разрушений структурных элементов. Они связаны с различным характером эксплуатационных воздействий. Поэтому в процессе обеспечения свойств эти особенности необходимо учитывать и обеспечивать свойства структурным элементам ГТД или ГТУ в соответствии с их особенностями эксплуатации. Это возможно обеспечивать на основе обеспечения ФОС посредством применения ФОТ [4–6].

Следует отметить, что неравномерность действия эксплуатационных воздействий происходит в подсистемах структурных элементов ГТД или ГТУ. Например, в компрессоре ГТД серии ТВ3-117 имеется пять групп ступеней лопаток, в каждой из которых имеется своя неравномерность износа лопаток (неравномерность 2-го рода) и неравномерность износа по группам ступеней (нерав-

номерность 3-го рода). Такие же особенности действия неравномерностей имеется в подсистемах турбины, причем между лопатками компрессора и лопатками турбины формируются свои неравномерности, которые приводят к неодинаковым разрушениям лопаток этих групп.

Можно отметить, что по функциональным элементам лопатки также действуют неравномерные эрозионно-абразивные воздействия. При этом они разрушаются неравномерно. Эти неравномерности можно отнести к неравномерностям 1-го рода. Разрушения пера лопатки начинается с верхней части входной кромки и распространяется к выходной кромке по поверхности корыта пера.

В представленной работе выполнен анализ особенностей эксплуатации лопаток турбокомпрессора и показаны виды эксплуатационных воздействий среды на лопатки компрессора. При этом представлены виды эксплуатационных разрушений лопаток осевого компрессора и параметры, влияющие на возникновение неравномерностей разрушения лопаток компрессора. А также здесь показан общий вид лопаток компрессора ГТД модели ТВ3-117 и особенности их разрушений.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить следующее:

1. ГТД и ГТУ имеют сложную структуру и состоят из множества элементов (лопаток), узлов и подсистем. Эти элементы структурированы в ступени лопаток, группы ступеней и подсистемы.

2. В процессе эксплуатации ГТД и ГТУ на структурные элементы, в каждой группе лопаток, между группами ступеней лопаток, между узлами и ступенями действуют изменяющиеся по этим элементам эксплуатационные воздействия (эрозионные, коррозионные, химические, физические, механические и комбинированные воздействия).

3. Существующие традиционные методы повышения ресурса ГТД и ГТУ не позволяют обеспечивать дальнейшее повышение их ресурса в условиях действия неравномерных эксплуатационных воздействий.

4. Для повышения ресурса ГТД и ГТУ, работающих в условиях действия неравномерных эксплуатационных функций и соответственно неравномерных разрушений элементов, узлов и подсистем необходимо обеспечивать специальные неравномерные их свойства, причем в соответствии с действием эксплуатационных функций. Это возможно выполнять на основе применения функционально-ориентированных технологий (ФОТ).

5. Обеспечение ФОС на базе ФОТ позволяет исключить действие неравномерных эксплуатационных функций и повысить ресурс ГТД и ГТУ.

6. Главным в применении ФОТ для повышения ресурса ГТД или ГТУ является то, что создаются условия для повышения полного эксплуатационного потенциала ГТД и адаптации их элементов, узлов и подсистем к особенностям эксплуатации.

В представленной работе показаны основные особенности обеспечения ФОС для ГТД и ГТУ, а также даны их эксплуатационные особенности с ФОС.

В работе разработан общий подход в обеспечении ФОС ГТД и ГТУ (рис. 3), а также представлена гипотетическая схема общего подхода в обеспечении ФОС. Общий подход базируется на предположении: между эксплуатационными функциями F , технологическими воздействиями и свойствами элемента действуют определенные связи, а именно: подобия, соответствия, идентичности, аналогии, эквивалентности и адекватности. Здесь можно отметить, что структура связей между элементами модели имеет замкнутую форму, которая позволяет определять параметры технологических воздействий и свойств детали в зависимости от особенностей действия эксплуатационных функций на элементы детали. Петли модели φ_i^i обозначают внутренние процессы в i -м объекте системы. В работе представлен алгоритм реализации общего подхода синтеза функционально-ориентированных технологий.



Можно отметить, что общий подход базируется на группе особых принципов ориентации функционально-ориентированных свойств и технологических воздействий.

В работе представлены основные характеристики общего подхода в повышении ресурса ГТД и ГТУ на основе обеспечения ФОС, а также выполнен анализ эксплуатационных особенностей ГТД и ГТУ с ФОС элементной базы.

Здесь показано, что разработанный общий подход в повышении ресурса ГТД и ГТУ на базе обеспечения ФОС позволяет обеспечивать:

- 1) повышение общего ресурса ГТД и ГТУ за счет увеличения межремонтного ресурса и количества восстановлений деталей;
- 2) возможность выработки полного потенциала элементов ГТД и ГТУ;
- 3) выполнение реализации полного, ограниченного или заданного эксплуатационного потенциала всех элементов ГТД или ГТУ;
- 4) возможность управления ресурсом работы ГТД или ГТУ в зависимости от условий заказчика.

При этом здесь рассмотрены варианты случаев:

- восстановления работоспособности элементов ГТД или ГТУ путем ремонта их элементов и обеспечения ФОС;
- восстановления работоспособности элементов ГТД или ГТУ путем установки в системы запасных частей с ФОС.

Следует отметить, что функционально-ориентированные свойства элементов, подсистем ГТД или ГТУ обеспечивают качественно новую совокупность их свойств.

В данной работе представлены технологические методы и оборудование для реализации ФОС для элементов ГТД и ГТУ.

Общие выводы

В заключение можно отметить, что выполненные исследования и предлагаемый общий подход позволяют решать вопросы повышения общего ресурса ГТД и ГТУ в условиях действия неравномерных воздействий на их элементы, узлы и подсистемы за счет увеличения межремонтного ресурса и количества возможных восстановлений на основе обеспечения ФОС, реализуемых на базе принципов ФОР.

В целом в представленной работе приведено следующее:

1. Выполнен анализ особенностей эксплуатации элементов, узлов и подсистем ГТД или ГТУ, при этом установлено, что детали этих систем эксплуатируются в условиях действия неравномерных эксплуатационных функций.
2. Разработан общий подход и принципы повышения ресурса ГТД и ГТУ на основе обеспечения деталям и узлам двигателя ФОС.
3. Выполнен анализ и даны рекомендации по применению общего подхода в повышении ресурса ГТД или ГТУ на основе обеспечения ФОС элементам, узлам и подсистемам с использованием разработанных технологий.

Литература

1. Григорьев В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с.
2. Корж В. В., Сальников А.В. Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций: Учеб. пособие. – Ухта: УГТУ, 2010. – 184 с.
3. Пичко А.П. К определению структурной надежности газотурбинных установок нефтегазовой промышленности // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 3 (62). – С. 54–74.
4. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
5. Михайлов В. А. Общие основы и принципы повышения ресурса газотурбинных двигателей на базе функционально-ориентированного подхода // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – Вып. 3 (58). – С. 32–43.

6. *Михайлов В. А., Михайлов А.Н., Байков А.В.* Комплексное повышение ресурса всех групп лопаток компрессора турбовального ГТД на основе функционально-ориентированного подхода // *Научно-технические технологии в машиностроении.* – Брянск: ФГБОУ ВО «БГТУ». – 2017. – № 9. – С. 42–48.

УДК 621.822.1

А.Н. Михайлов, С.А. Матвиенко, Ю.Н. Стрельник, А.В. Лукичев

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283003
e-mail: a_lukichov@mail.ru*

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

В статье рассмотрены условия эксплуатации шаровых шарниров, непосредственно влияющих на качество поверхностного слоя, и технологии изготовления шарового пальца, и определена мера полезности сферических подшипников скольжения, которую необходимо обеспечить при технологических воздействиях.

Ключевые слова: шаровой шарнир, поверхностный слой, технология, мера полезности.

A.N. Mikhailov, S.A. Matvienko, Yu.N. Strelnik, A.V. Lukichev

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283003
e-mail: a_lukichov@mail.ru*

FUNCTIONALLY-ORIENTED ANALYSIS OF THE OPERATING CONDITIONS AND PRODUCTION TECHNOLOGIES OF TRANSPORT VEHICLES SPHERICAL SWIVEL CONNECTIONS

Operating conditions of ball and socket joints directly influencing on the quality of surface layer and ball pin production technology are considered in the article. The utility measure of spherical bush bearings that must be provided at technological influences is determined.

Key words: ball and socket joint, surface layer, technology, utility measure.

Введение

Функциональность и срок службы транспортных машин значительно зависит от надежности деталей пар трения. Сферические шарнирные соединения повышают функциональность машины и устойчивость к деформациям. К сферическим шарнирным соединениям относятся подшипники скольжения, широко применяемые в транспортных машинах [1–3]. По характеру трения шаровый шарнир представляет собой подшипник скольжения, и применяются для соединения элементов, подвижных относительно друг друга. Сферические подшипники скольжения широко применяются в машиностроении, в ядерно-энергетическом машиностроении, в приборостроении, автомобилестроении, в глубоководном транспорте и в других отраслях техники. Шаровые шарниры являются одними из наиболее ответственных узлов передней подвески легковых автомобилей и оказывают непосредственное влияние на их безопасность.

В результате исследований определено, что долговечность шаровых шарниров в основном определяется износостойкостью контактирующих поверхностей его деталей и зависит от конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов [4].

Общая тенденция развития шаровых шарниров идет по пути совершенствования конструкций, изменения материала и конструкции вкладышей. Обеспечение заданного ресурса сферических шарнирных соединений за счет конструкторско-технологических решений является актуальной задачей.

Цель статьи рассмотреть условия эксплуатации шаровых шарниров, непосредственно влияющих на качество поверхностного слоя (ПС) и технологии изготовления шарового пальца. Определить меру полезности сферических подшипников скольжения, которую необходимо обеспечить при функционально-ориентированных технологических воздействиях.

Основная часть

Функция шарового шарнира, конструктивные части которого имеют возможность совершать угловое перемещение, заключается в передаче вращательного движения. При этом через шарнир не происходит передачи изгибающего момента от одного элемента к другому.

Шарниры являются элементами, которые подвержены механическому воздействию и терпевают нагрузки в виде трения. В процессе выработки смазочного материала увеличивается износ, который ведет к увеличению зазора между шаровым пальцем и антифрикционной обоймой, который ограничивает срок эксплуатации шарнира [5, 6]. Шарнирные сферические подшипники могут работать со смазкой и без нее.

Анализ основных возможных причин выхода из строя шаровых шарниров

Основным элементом сферического шарнира является шаровой палец [7–9]. Шаровые пальцы испытывают при эксплуатации многоцикловые знакопеременные радиальные и двухсторонние осевые нагрузки, что приводит к истощению ресурса детали по двум направлениям: абразивному износу сферической части шарового пальца и усталостному износу металла в опасном сечении перехода сферической части шарового пальца в коническую часть. Для шарового пальца также характерны деформация и коррозия [10]. Основной причиной потери работоспособности является изнашивание сферической части шарового пальца. Изнашивание зависит от условий трения (величина и характер нагружения, характер трения, вид и характер смазки, скорость скольжения, угол относительного перемещения, температурный режим работы, влажность воздуха, абразивность окружающей среды) и от конструктивно-технологических характеристик [10, 11].

В шарнирных соединениях под действием эксплуатационных факторов, могут проявляться следующие виды изнашивания: водородное, абразивное, окислительное, усталостное, фреттинг-коррозия, вследствие пластической деформации. Возникновению пластических деформаций способствует реверсивный характер трения [12].

Эксплуатационное состояние шарнирных соединений характеризуется критериями: осевое усилие при перемещении шарового пальца, момент сопротивления шарового пальца повороту, коэффициент стабильности момента сопротивления шарового пальца повороту, обратимое и необратимое относительное смещение шарового пальца в осевом и радиальном направлении.

Характер трения в сферических шарнирах зависит от нагрузки, скорости скольжения и рабочей температуры. Коэффициент трения является функцией от нагрузки, прямо зависит от скорости скольжения и является обратной функцией рабочей температуры.

Наиболее распространенной причиной перехода шаровых шарниров подвески и рулевых наконечников в неисправное состояние является износ деталей узла [13].

Условия эксплуатации

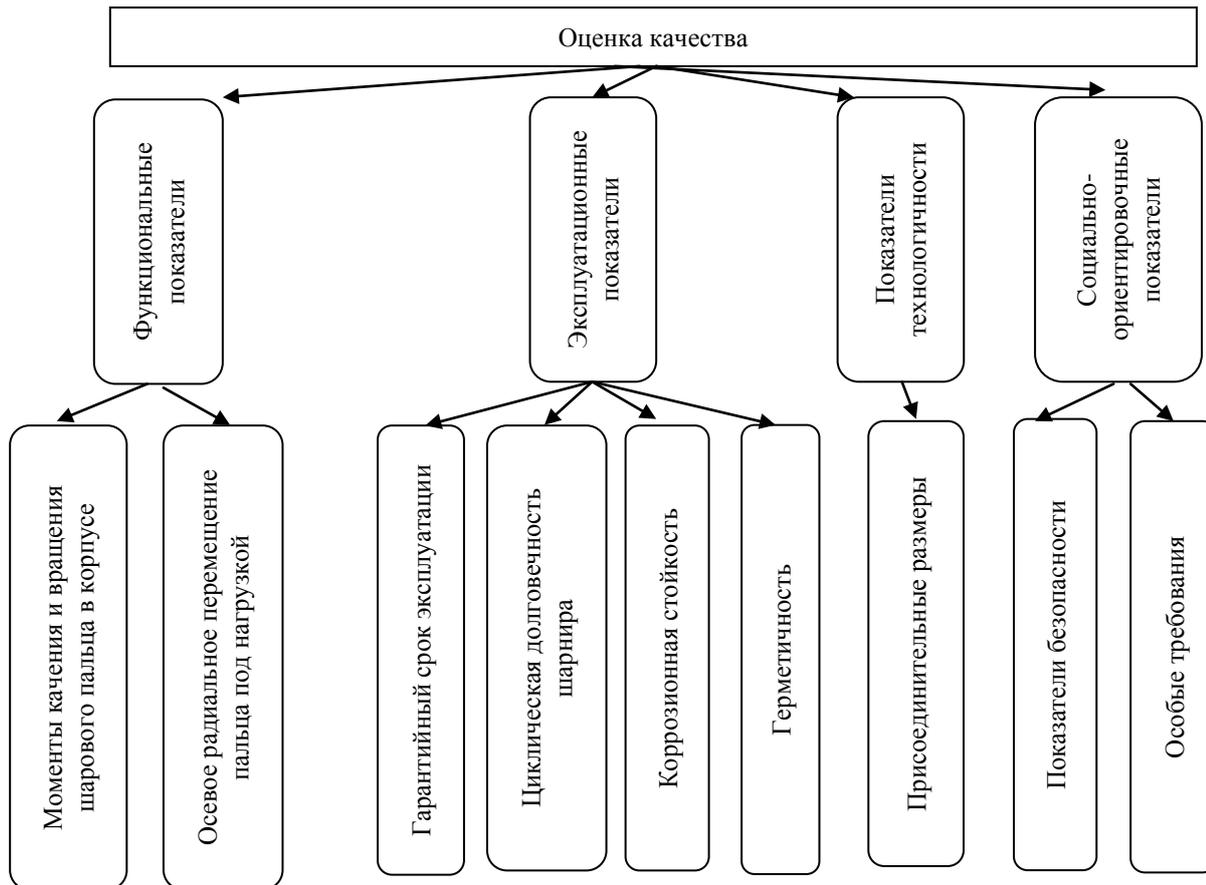
В процессе эксплуатации сферических шаровых подшипников осуществляются качательные движения относительно оси подшипника и в виде перекоса оси. Шарнирные подшипники скольжения воспринимают постоянную, однонаправленную центральную нагрузку F и эквивалентную однонаправленную или меняющуюся нагрузку, состоящую из одновременно действующих радиальной (F_r) и осевой (F_a). Удельная нагрузка на подшипник определяет контактное давление в подшипнике. Движения при работе сферических подшипников в динамических условиях определяются: импульсом, частотой и скоростью движения. На величину импульса влияют углы поворота и наклона, а частота оказывает непосредственное влияние на срок службы подшипника.

Шаровые шарниры работают под воздействием внешних (обусловленных режимом работы) и внутренних (определяемых физико-механическими характеристиками) эксплуатационных факторов, которые определяют их эксплуатационные характеристики (контактное давление, смещение и угол контакта, тепловой режим, коэффициент трения и интенсивность изнашивания).

Показатели квалитетической оценки качества шарнирных сферических соединений представлены на рисунке.

Долговечность узлов трения определяется: несущей способностью, износостойкостью контактирующих поверхностей и фрикционной термостойкостью и зависит от ряда конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов [14].

Технологической задачей является повышения износостойкости шарнирных сферических соединений. С целью избежать преждевременного износа антифрикционной обоймы шарового шарнира применяются современные материалы с особыми физико-механическими, антифрикционными, упругими и антикоррозионными свойствами [15]. Повысить износостойкость шарниров можно, исключив реверс при трении, но при этом усложняется конструкция шарнирного соединения.



Показатели квалитметрической оценки качества шарнирных сферических соединений

Одним из традиционных путей повышения износостойкости пар трения является применение смазок. Большое значение в вопросе износостойкости шарниров имеет подбор материалов сопрягаемых поверхностей. Повышение износостойкости возможно за счет уменьшения отделения материала с поверхности трения и снижения пластических деформаций.

Технология изготовления

Наиболее важной и трудоемкой частью технологического цикла при изготовлении шарового пальца являются черновая и чистовая обработка неполной сферической головки. Заготовки шаровых пальцев, применяемых в шаровых шарнирах передней подвески, изготавливаются, главным образом, холодной высадкой, либо поперечно-клиновой прокаткой, фрезерованием, холодной листовой штамповкой корпусов шаровых пальцев [16, 17]. В качестве операции чистовой размерно-упрочняющей обработки неполной сферы шарового пальца получили распространение ротационная (планетарная) обкатка шариками, отделочно-упрочняющая беспараторная обкатка, отделочно-упрочняющее обкатывание [16, 18, 19]. Основные критерии работоспособности сферических подшипников скольжения выражаются, исходя из ограничений по температурам $[t_1] \leq t \leq [t_2]$, средним (условным) давлениям (контактным напряжениям) $p \leq [p]$, интенсивностям изнашивания $I_h \leq [I_h]$, моментам сопротивления $T_{mp} \leq [T_{mp}]$, что эквивалентно ограничению по коэффициенту трения скольжения $f \leq [f]$ [4].

Выводы

Технологические воздействия должны обеспечить качество рабочей поверхности шарового пальца, обеспечивающее определяемые гарантийным сроком службы износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость.

Литература

1. Железков О.С., Михайлова У.В. Усовершенствованный шаровой шарнир передней подвески легковых автомобилей // Автомобильная промышленность. – 2010. – № 3. – С. 14–15.

2. Математическое моделирование технического состояния шарового шарнира в условиях стендовых испытаний / *А.Н. Новиков, В.И. Чернышов, В.А. Гордон, А.А. Катунин, М.Д. Тебекин* // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 4. – С. 39–46.
3. *Новиков А.Н., Катунин А.А., Тебекин М.Д.* Проблемы эксплуатации шаровых опор легковых автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. – № 3. – С. 42–45.
4. *Родионов Ю.В., Войнов А.А., Шмелев А.А.* Повышение износостойкости и долговечности шаровых опор автомобилей // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Том 4, № 4. – С. 84–86.
5. Руководящий документ РД 37.001.613-9. Шарниры шаровые автотранспортных средств. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: 1997 – 230 с.
6. Точка опоры // За рулем. – 2000. – № 5. – С. 59–65.
7. Корпус шарового шарнира: Патент 2270378 Российская Федерация, МПК, F16C 11/06 / В.П. Недиков; заявитель и патентообладатель В.П. Недиков. – № 2004104043/11; заявл. 11.02.2004; опубл. 20.02.2006. – 3 с.
8. Палец шарового шарнира: Свидетельство на полезную модель 38863 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/08 / *В.П. Недиков*. – № 2004102494/20; заявл. 30.01.2004; опубл. 10.07.2004. – 2 с.
9. Вкладыш шарового шарнира: Свидетельство на полезную модель 28520 Российская Федерация, МПК7, F16C 11/06. / *В.А. Гаас*. – № 2001112378/20, заявл. 11.05.2001; опубл. 27.03.2003. – 3 с.
10. Анализ видов повреждений шаровых шарниров / *С.Ю. Радченко, А.Н. Новиков, А.А. Катунин, М.Д. Тебекин* // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 1(36). – С. 8–14.
11. *Фролов А.М.* Совершенствование системы проектирования элементов сферических шарниров с учетом реновационных мероприятий в их полном жизненном цикле / ГОУ ВПО «Камский государственный политехнический институт». – Набережные Челны, 2004. – С. 6.
12. *Серебрянский А.И., Абрамов В.В., Канищев Д.А.* Обоснование выбора антифрикционных материалов для узлов трения технологического оборудования лесозаготовительных машин // Лесотехнический журнал. – 2014. – Том 4, № 1 (13). – С. 194–200.
13. Расчетное определение показателей прочности шаровых шарниров элементов шасси автомобиля путем моделирования процесса статических испытаний / *И.А. Михайловский, И.Г. Гун, В. В. Сальников, Д.С. Вдовин, В.И. Куцепедник, Е.И. Гун* // Журнал автомобильных инженеров. – 2014. – № 2 (85). – С. 20–24.
14. *Колесников, В.И.* Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах. – М.: Наука, 2003. – 279 с.
15. *Раймпель Й.* Шасси автомобиля: Конструкции подвесок / Пер. с нем. В.П. Агапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
16. Совершенствование технологии изготовления шаровых пальцев автомобилей / *И.Г. Гун, О.С. Железков, И.А. Михайловский и др.* // Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2000. – № 11–12 (1211–1212). – С. 60–62.
17. *Катунин А.А., Катунин А.В., Самойлов Н.Н.* Комбинированный способ отделочно-упрочняющей обработки головок шаровых пальцев // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. – № 1(28). – С. 22–26.
18. *Катунин А.А.* Формирование шероховатости поверхности неполной сферы при обкатке беспараторным инструментом // Известия ОрелГТУ. – 2009. – № 3/275(561). – С. 70–75.
19. Исследование кинематических параметров процесса обкатки неполной сферической головки шарового пальца / *Ю.С. Степанов, А.М. Гаврилин, А.В. Катунин, А.А. Катунин* // Известия ОрелГТУ. – 2009. – № 2/274(560). – С. 52–56.

УДК 621.9.02

В.Д. Рябичев, В.А. Витренко

*Луганский национальный университет им. Владимира Даля,
Луганск, 91034
e-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ ГИПЕРБОЛОИДНОГО ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

В работе предлагается новая схема формообразования гиперболоидного инструмента, предназначенного для нарезания зубьев цилиндрических зубчатых колес. Поверхность инструмента получается в пространственном станочном зацеплении как огибающая нарезаемого зубчатого колеса. В аналитическом виде найдены основные геометрико-кинематические показатели нарезания зубьев цилиндрических зубчатых колес.

Ключевые слова: гиперболоидный инструмент, зубчатое колесо, геометрико-кинематические показатели, схема формообразования.

V.D. Ryabichev, V.A. Vitrenko

*Luhansk National University named after Vladimir Dal,
Lugansk, 91034
e-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

CHARACTERISTIC PECULIARITIES OF HYPERBOLA TEETH-CUTTING INSTRUMENT TEETH FORMATION

A new formation scheme of hyperbola instrument intended for cylindrical gear-wheels teeth-cutting has been suggested. The instrument surface is obtained in a space-machine-tools engagement as an enveloping of a gear-wheel being cut. Major geometric and kinematic indexes of cylindrical gear-wheels teeth cutting have been found in analytical form.

Key words: hyperbola instrument, gear-wheel, geometric and kinematic indices, formation scheme.

При изготовлении и ремонте деталей судов и судовых агрегатов их качество зависит от качества применяемого инструмента и степени его точности. Следовательно, вопросы, связанные с проектированием различного зуборезного инструмента, а также с разработкой различных схем его формообразования являются в настоящее время актуальными вопросами. Поэтому в данном исследовании рассматриваются характерные особенности получения производящей гиперболоидной зубчатой поверхности.

При получении зубьев как на инструменте, так и на нарезаемой заготовке эта зубчатая пара представляет собой станочное зацепление нарезаемой заготовки с производящим исходным контуром.

Поверхность, образующуюся в станочном зацеплении режущими кромками фрезы, следует считать производящей. При различных схемах формообразования имеем различную огибающую в относительном движении инструмента относительно заготовки [1].

В любом станочном зацеплении производящая пара реализуется в конкретной схеме станочного зацепления. Вполне понятно, что не все поверхности можно использовать в качестве производящих, поэтому большинство станочных зацеплений не могут быть реализованы в промышленности [2]. Все существующие поверхности и схемы станочных зацеплений влияют на величину технологических затрат на производство и физическую возможность их реализации.

Следовательно, при разработке новых схем формообразования зубчатых поверхностей необходимо определить степень их соответствия ряду требований: производящие поверхности образуемые режущими кромками инструмента, должны быть такими, чтобы сам инструмент был технологичным в изготовлении, имел низкую себестоимость, а также имел высокую стойкость; схемы формообразования инструмента должны легко реализовываться на существующем зубообрабатывающем оборудовании с применением стандартной оснастки; инструменты, применяемые для изготовления зубьев, должны быть легко доступными для станочника, иметь соответ-

вующую точность, обладать высокой производительностью обработки; геометро-кинематические параметры сопрягаемой зубчатой пары не должны иметь неблагоприятное совпадение.

Из практики производства цилиндрических зубчатых колес известно, что наиболее трудоемкой операцией при изготовлении зубчатых колес является операция затыловки инструмента. Поэтому очень важным является разработка инструмента, позволяющего за счет технологии его изготовления исключить трудоемкую операцию затыловки.

Практическое применение зуборезного инструмента показывает, что наиболее производительным является многозаходный зуборезный инструмент [3]. На практике такой инструмент изготавливают в плоском станочном зацеплении. Это приводит к тому, что такой инструмент имеет увеличенные задние углы, что в значительной степени усложняет операцию затыловки. Многочисленные исследования доказали, что многозаходный инструмент должен получаться как огибающая обрабатываемого зубчатого колеса. Такой инструмент позволяет обойтись без операции затыловки благодаря схеме его получения в пространственном станочном зацеплении. В данном исследовании показана степень рациональности использования разработанного инструмента для совершенствования технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес.

Для нахождения поверхности гиперboloидного инструмента зададим уравнение обрабатываемого цилиндрического зубчатого колеса в следующем виде:

$$r_1 = r_1(v, \psi), \quad (1)$$

здесь v и ψ – переменные параметры (криволинейные координаты на поверхности нарезаемого зуба).

Установим связь между точками инструмента и заготовки в двухпараметрическом огибании. Осуществим переход от системы координат нарезаемой заготовки к системе координат искомого инструмента, получим семейство огибающих в следующем виде:

$$\begin{aligned} x_2 &= f(x_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, y, z), \\ y_2 &= f(y_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, x, z), \\ z_2 &= f(z_1, \varphi_1, \varphi_2, \gamma, y, x), \end{aligned} \quad (2)$$

здесь x_2, y_2, z_2 – координаты точки на зубе гиперboloидного инструмента, x_1, y_1, z_1 – координаты точки на зубе цилиндрического зубчатого колеса, φ_1, φ_2 – углы поворота цилиндрического колеса и гиперboloидного зубообрабатывающего инструмента.

Для сокращения дорогостоящих экспериментальных исследований в работе найдены основные геометро-кинематические показатели процесса нарезания зубьев, как самого инструмента, так и зубьев цилиндрических зубчатых колес. К основным показателям процесса формообразования поверхности зуба цилиндрического зубчатого колеса гиперboloидным инструментом относятся следующие показатели, выраженные уравнениями (3)–(6):

1. Относительная скорость скольжения:

$$\begin{aligned} V_x^{(12)} &= -y_1(1 - u_{21} \cos \gamma) - z_1 u_{21} \sin \gamma \cos \varphi_1 - A u_{21} \cos \gamma \sin \varphi_1; \\ V_y^{(12)} &= (x_1 - r)(1 - u_{21} \cos \gamma) + z_1 u_{21} \sin \gamma \sin \varphi_1 - A u_{21} \cos \gamma \cos \varphi_1; \\ V_z^{(12)} &= -u_{21} \sin \gamma [(x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + A]. \end{aligned} \quad (3)$$

2. Суммарная скорость перемещения обрабатываемых зубьев в направлении, перпендикулярном линиям контакта:

$$\vec{U} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 = 2 \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} [\vec{q} \times \vec{n}_1] |\vec{N}| / \left[\left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial k} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial \psi} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \vec{q} \right) \frac{\partial F}{\partial k} \right] + \vec{V}_{12}. \quad (4)$$

3. Угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением линий контакта:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \nu_{\tau} &= \left\{ -\frac{\partial F}{\partial \psi} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \vec{V}_{12} \right) [(x_1')^2 (\bar{y}_1)^2] - \frac{\partial F}{\partial k} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial k} \vec{V}_{12} \right) \right\} / \\ & / \left[\frac{\partial F}{\partial k} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \vec{V}_{12} \right) - \frac{\partial F}{\partial \psi} \left(\frac{\partial \vec{r}_1}{\partial k} \vec{V}_{12} \right) \right] \sqrt{(x_1')^2 + (\bar{y}_1)^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

4. Удельные скольжения при изготовлении колес гиперboloидными инструментами:

$$\eta_1 = \left\{ - \left(\vec{V}_{12} \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\vec{V}_{12} \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial k} \right) \frac{\partial F}{\partial k} \right\} / \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} [(x'_1)^2 + (y'_1)^2];$$

$$\eta_2 = 1 - \left\{ \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] \right\} /$$

$$\left\{ \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] - \left(\vec{V}_{12} \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial \psi} \right) [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] \frac{\partial F}{\partial \psi} - \left(\vec{V}_{12} \frac{\partial \vec{r}_1}{\partial k} \right) \frac{\partial F}{\partial k} \right\}. \quad (6)$$

Благодаря полученным аналитическим выражениям удалось на стадии проектирования прогнозировать работоспособность созданного инструмента. Удалось теоретически рассчитать его поверхность, сравнить теоретический и практический профиль.

Принимая во внимание отдельные закономерности зацепления гиперboloидного инструмента с нарезаемым цилиндрическим зубчатым колесом, удалось экспериментально проверить работоспособность новой схемы формообразования гиперboloидного инструмента, а также технологию нарезания зубьев.

Литература

1. *Иноземцев Г.Г.* Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
2. *Родин П.Р.* Основы проектирования режущих инструментов. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с.
3. *Цвис Ю.В.* Профилирование режущего обкатного инструмента. – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.

УДК 621.45

Т.В. Хавлин¹, А.Н. Михайлов², Д.А. Михайлов², В.А. Михайлов², С.В. Глухов¹

¹ *Донецкая академия внутренних дел МВД ДНР,
Донецк, 283001;*

² *Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001*

e-mail: strana.sovetov.80@mail.ru

СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ЛОПАТОК ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В данной статье рассматривается процесс повышения качества одной из основных деталей авиационного газотурбинного двигателя – рабочей лопатки турбины. Создается методика разработки общего подхода в создании функционально-ориентированной технологии и формируется синтез методов, применяемых в данном исследовании. Также предлагается вариант алгоритма технологического процесса, применяемого для повышения качества лопаток турбины на базе функционально-ориентированного подхода.

Ключевые слова: лопатка турбины авиационного двигателя, синтез методов, функционально-ориентированные технологии, алгоритм синтеза.

T.V. Khavlin¹, A.N. Mikhailov², D.A. Mikhailov², V.A. Mikhailov², S.V. Glukhov¹

¹ *Donetsk Academy of Internal Affairs DPR,
Donetsk, 283001;*

² *Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283001*

e-mail: strana.sovetov.80@mail.ru

FUNCTIONALLY-ORIENTATED TECHNOLOGY TO INCREASE THE SERVICE LIFE OF TURBINE BLADES FOR AIRCRAFT ENGINES

The process of improving the quality of one of the main parts of the aircraft gas turbine engine – turbine blade is discussed. The method of development of the general approach in creation of the functionally-oriented technology is created and synthesis of methods applied in this research is formed. The variant of the technological synthesis algorithm used to improve the quality of turbine blades based on a functionally oriented approach is also proposed.

Key words: aircraft engine turbine blade, synthesis of methods, functionally-oriented technologies, synthesis algorithm.

Введение

Прогрессу в авиационном двигателестроении во многом способствует наличие и непосредственное применение технологий, способных придать особые свойства деталям двигателя. Для изготовления изделий повышенного ресурса сегодня существует множество современных, можно сказать, специальных методов и технологий, применение которых способствует техническому прогрессу [1–3]. Такой процесс изготовления изделий носит полиэдрический характер и возможен за счет применения функционально-ориентированных технологий (далее – ФОТ).

В данной работе изучается возможность повышения качества одной из основных деталей авиационного газотурбинного двигателя (далее – ГТД) – это рабочая лопатка турбины (далее – ЛТ), в связи с чем решается ряд проблем, таких как:

- 1) необходимость разработки общего подхода в создании ФОТ и формирования синтеза методов повышения качества ЛТ на базе функционально-ориентированного подхода;
- 2) необходимость создания алгоритма функционально-ориентированного подхода для повышения качества лопаток турбины.

Цель данной работы – создание ФОТ для повышения ресурса ЛТ ГТД.

Для выполнения целевого исследования в данной работе решаются следующие задачи:

1. Рассматриваются этапы и возможные составляющие разработки общего подхода и синтез метода повышения качества ЛТ в создании ФОТ.
2. Предлагается вариант алгоритма функционально-ориентированного подхода для повышения качества лопаток турбины.

Основное содержание и результаты работы по разработке общего подхода в создании ФОТ

Определив предмет и цель исследования, проводимого в данной работе, необходимо обратить внимание на тот факт, что создаваемая технология должна учитывать особенности эксплуатационных функций и их взаимосвязь на уровнях абстракции, как на уровне потребностей (возможностей) общество – технологии – экономика, так и на самом низшем – уровне зон детали с постоянной ориентацией на уровень (требования) технического прогресса (современных условий). Общая модель подхода «Динамический синтез процесса повышения ресурса ЛТ ГТД» (рис. 1) представляет собой перечень объектов и описание процесса их взаимодействия (запросов и возможностей) на разных уровнях абстрагирования (1-й, 2-й, 3-й, ... N^{n-1} -й). Среди изображенных составляющих предлагается рассматривать по три основных каждого уровня, например: уровень развития общества, уровень развития науки и техники, уровень развития экономики и т. д. На следующем уровне могут быть рассмотрены объекты, такие как: особенности сферы использования, особенности планирования финансового сопровождения,

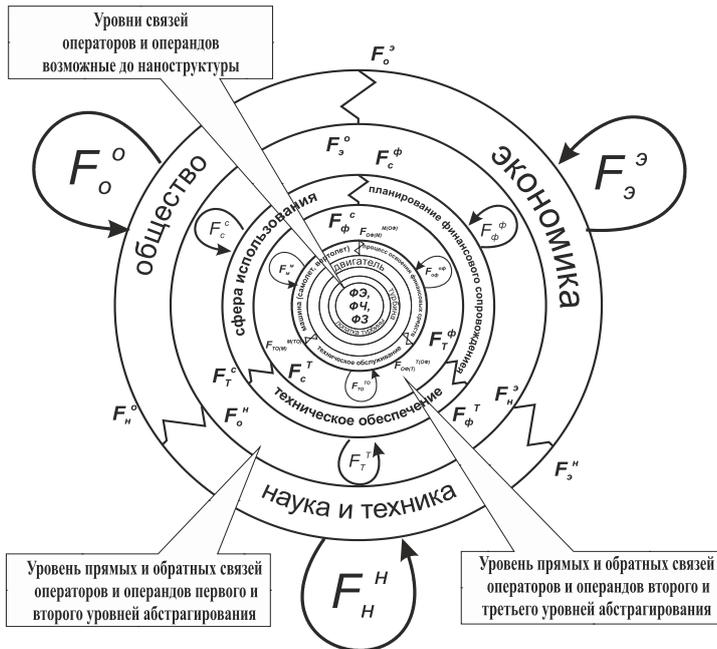


Рис. 1. Общая модель «Динамический синтез процесса повышения ресурса ЛТ ГТД»

уровень логистики в вопросах технического обеспечения. На третьем уровне рассматриваются непосредственно объекты эксплуатации и условия, определяющие особенности эксплуатации машины (самолет, вертолет), прикладные примеры технического обслуживания, практическое освоение финансовых средств по схеме хранение – эксплуатация (рекламация) – обеспечение – обслуживание – ремонт – замена. Уровни абстрагирования двигатель – функциональные зоны позволяют изучить возможности ориентирования процесса создания технологий непосредственно на целевые, независимые или сложноструктурированные условия эксплуатации машины – двигателя – детали. Взаимосвязь между составляющими уровня абстрагирования определяет наличие объектов операторов (оказывающих воздействие) и объектов операндов (испытывающих воздействие). Такое взаимодействие может быть описано посредством управляющих отношения F_i^j , где i – объект оператор, j – объект операнд. Петли с указанием управляющих отношений типа F_n^h , F_o^o , F_3^z описывают способности каждого составляющего объекта уровня абстрагирования к внутреннему саморазвитию и самоконтролю на фоне постоянного получения и передачи сигналов, команд, условий, требований и т. д., содержащихся в управляющих отношениях. При этом, как сама модель, содержащая множество уровней, составляющих (объектов) и уровней связей (от верхнего уровня до функционального элемента – ФЭ, далее до функциональной части – ФЧ и далее до функциональной зоны – ФЗ детали) так и каждый элемент, и уровень связей может быть изучен ориентированно. Это значит изучено в целевом спектре требований, необходимых для создания технологий, которые позволят придать ЛТ ГТД требуемые функционально-ориентированные свойства (далее – ФОС).

Данная модель способна, в общем, сформировать понимание процесса изучения условий эксплуатации и выбора технологий изготовления (ремонта) с целью повысить ресурс ЛТ ГТД.

Одним из примеров применения модели можно определить процесс изучения и установления основных характеристик ЛТ ГТД.

Процесс взаимодействия также может быть описан посредством управляющего отношения F_i^j , где i – объект оператор, j – объект операнд.

На рис. 2 показаны характеристики ЛТ ГТД.

1. **Тип объекта** – деталь, ЛТ ГТД, что технически определяет формат ее применения и позволит перечислить эксплуатационные функции, а именно:

1.1. **Функции назначения.** Функции, выполняемые в формате служебного назначения, определяющиеся происходящими процессами в лопаточной машине.

1.2. **Уровень сложности функций.** Характеристика ЛТ по средству изучения иерархической структуры технических функций (подфункций) детали.

1.3. **Рабочие функции.** Выполняемая работа представляет описание элементарного набора функциональных действий и воздействий (частей, элементов, зон) или действия в целом ЛТ.

1.4. **Уровень абстрактности функций.** Прецизионное изучение условия эксплуатации (действия) детали.

1.5. **Структура функций.** Характеристика, описывающая набор элементов (операторов и операндов), объединяющихся под одним результатом (воздействие, преобразование, разрушение, взаимодействие, повышение ресурса и т. д.).

Аналогичным образом могут быть изучены по уровням (подуровням) последующие характеристики, такие как: способ действия, состояние объекта и т. д.

2. **Способ действия ЛТ ГТД.** Данная характеристика представляет собой логическое описание способа реализации целевой функции.

3. **Структура объекта исследования.** Характеризует ЛТ ГТД как деталь в целом, так и позволяет изучать ее, выполнив предварительно декомпозицию.

4. **Состояние объекта исследования.** Позволяет осуществить повышение ресурса с учетом анализа состояния объекта как после изготовления, так и объекта после эксплуатации.

Все установленные характеристики того или иного процесса или объекта, рассмотренные на возможных уровнях иерархии, позволяют придать динамику процесса синтеза методов.

Особенности эксплуатации, определяющие необходимость применения функционально-ориентированного подхода, рассматриваются в [4–6 и др.], их изучение в совокупности с правильно выполненной характеристикой детали будет являться шагом к разработке синтеза методов повышения качества ЛТ ГТД.

Как, например, можно рассмотреть разрушение выходной кромки пера лопатки, указанное под цифрой 1 (цифра 2 указывает на большое наличие концентраторов напряжений ниже срединной части входной кромки) (рис. 3).

Такое явление обусловлено большой температурной напряженностью (области разгара защитных покрытий), усложняемой сульфидной коррозией, ориентированной сепарацией механических частиц рабочего тела, особенностями геометрии проточной части, происходящее на фоне увеличения скорости относительного движения частиц по высоте пера ЛТ. Применяемые защит-

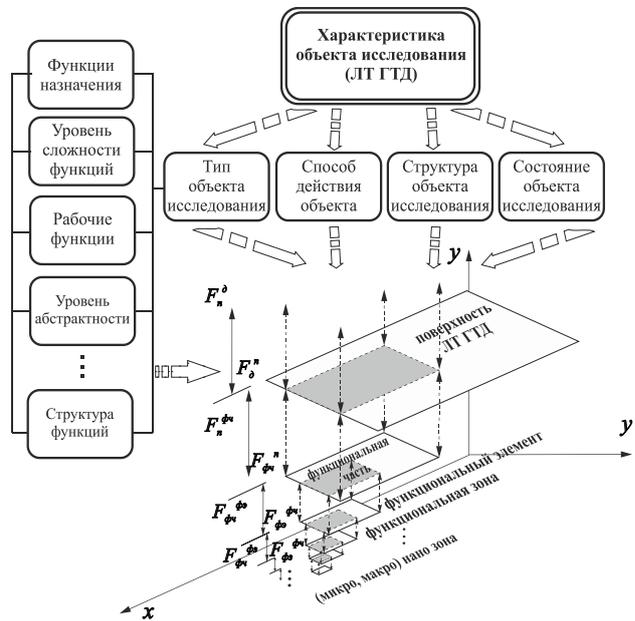


Рис. 2. Характеристика ЛТ ГТД

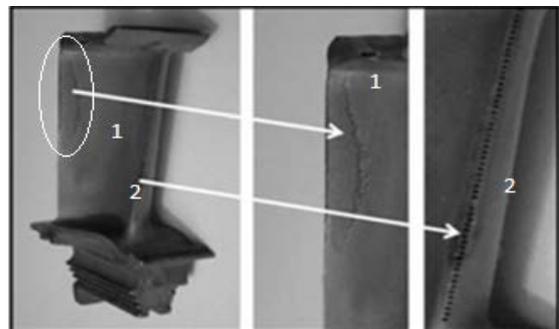


Рис. 3. Неоднородность повреждения лопаток ГТД ТРДДФ EJ200 в виде разрушения покрытия в зоне входной, выходной кромки и корытца пера [9]

ные технологии способны обеспечить работоспособность на определенный срок, но не гарантируют повторную ремонтпригодность или снижение затрат вследствие неоднородности износа [7, 8 и др.]. На рис. 3 видно, что при полностью разрушенной выходной кромке и частично крыта и входной кромки на 80% поверхностей защитное покрытие остается. И это в большинстве случаев не зависит от видов покрытия, будь то диффузионное толщиной 50...70 мкм или электронно-лучевое до 300 мкм. И поэтому, изучая условия эксплуатации, можно выполнить еще один этап создания технологии, составляющим которого будет ориентированная классификация ЛТ ГТД в направлении целевого назначения (применения) (рис. 4), где среди основных критериев классификации могут выступать:

– принадлежность к виду авиационного транспорта;

- принадлежность к типу ГТД;
- тип осуществления рабочего действия;
- сложность формы рабочей детали;
- технология получения заготовки.

Такая классификация находится в тесном взаимодействии с процессом установления характеристик объекта в виде информационного потока данных, как об условиях эксплуатации, так и о процессе изготовления ЛТ ГТД.

Далее следует обратить внимание на еще один немаловажный этап общего подхода и синтеза технологии – это прецизионное изучение ЛТ ГТД по средству выполнения декомпозиции изделия. Так как при реализации ФОТ технологические воздействия орудий и средств обработки на ЛТ ГТД выполняются на местных уровнях, для чего и выполняется деление по иерархии элементов детали [1]:

1. Уровень всей ЛТ ГТД как изделия (ФИ).
2. Уровень функциональных частей (ФЧ).
3. Уровень функциональных составляющих (ФС).
4. Уровень функциональных зон (ФЗ).

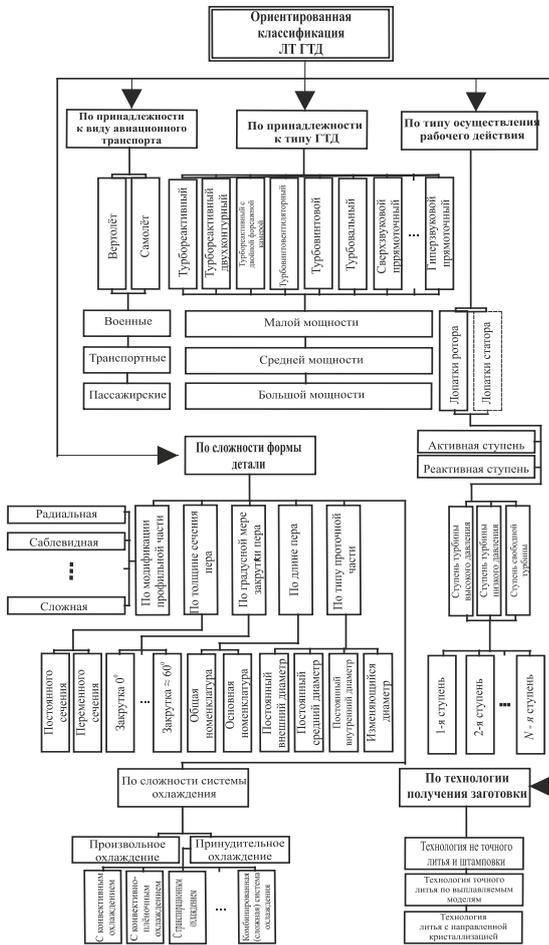


Рис. 4. Ориентированная классификация ЛТ ГТД

5. Уровень макрозон (ФЗМ).
6. Уровень микрозон (ФЗм).
7. Уровень нанозон (ФЗн).

Если рассматривать конкретно ЛТ ГТД, следует иметь в виду, что для конкретного функционального элемента j -го уровня деления необходимо выполнять его декомпозицию на множество функциональных элементов $(j + 1)$ -го уровня. На рис. 5 представлена схема декомпозиции функционального элемента j -го уровня глубины технологии на множество функциональных элементов $(j + 1)$ -го уровня, а именно: здесь f_{jz_j} – функциональный элемент j -го уровня деления лопатки; $f_{(j+1)z_{(j+1)}}$ – любой $z_{(j+1)}$ -й функциональный элемент $(j + 1)$ -го уровня деления лопатки; $Z_{(j+1)}$ – мощность множества f_{jz_j} (количество функциональных элементов на $(j + 1)$ -м уровне лопатки[1].

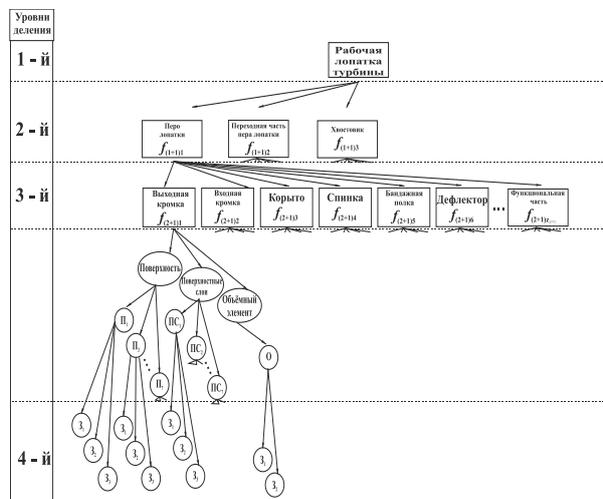


Рис. 5. Граф функциональных элементов ЛТ ГТД по уровням деления

Данная последовательность этапов – это часть общего процесса повышения качества ЛТ ГТД. Используя как классификацию изделия, характеристику изделия, так и многоуровневую иерархию, возможно достигнуть выполнения суперточного воздействия орудий и средств обработки в процессе изготовления или ремонта ЛТ ГТД, при этом улучшая экономические показатели, повышая ресурс изделия, удовлетворяя потребности общества.

Вариант алгоритма функционально-ориентированного подхода для повышения качества лопаток турбины

Алгоритм (рис. 6), описывающий процесс повышения ресурса ЛТ ГТД с применением защитных покрытий, предоставляет возможность пошагово, универсально осуществлять создание технологии и непосредственно улучшать свойства детали с целью создания разноуровневой равноэффективной защиты, как при изготовлении, так и при восстановлении изделия (r – количество циклов восстановления, $r = 1, 2, 3, 4, \dots, n$), где r, s – параметры (особенность разрушения, цикл восстановления), определяющие технологического воздействия (TB) $TB = f(r, s)$; W и V – выход и вход процесса; $OPPЗ$ – технологическое обеспечение разноуровневой равноэффективной защиты; S, E, I – информационный, энергетический и материальный поток.

Вывод

По результатам проведенных исследований можно утверждать, что выполненная часть разработки общего подхода в создании ФОТ и формирования синтеза методов повышения качества ЛТ на базе функционально-ориентированного подхода, а также создание варианта алгоритма функционально-ориентированного подхода для повышения качества лопаток турбины обеспечит придание особых (специальных свойств) производимым изделиям.

Литература

1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – С. 347.
2. Михайлов А.Н., Хавлин Т.В. Особенности технологического процесса повышения ресурса лопаток турбины авиационных двигателя на базе функционально-ориентированной технологии // Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – Донецк: ДонНТУ, 2017. – № 1. – С. 84–100.
3. Хавлин Т.В. Актуальность функционально-ориентированного подхода в повышении свойств изделий // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века – 2016». – Севастополь: ДонНТУ, 2016. – Т. 2. – С. 149–150.
4. Гишваров А.С., Давыдов Н.М. Методы испытаний лопаток турбин на высокотемпературную газовую коррозию // Вестник УГАТУ. – 2015. – С. 45–54
5. Воскобойников Д.В., Кесель Б.А. Способ увеличения срока службы моторного масла и повышение надежности трибологической системы ГТД // Механика и машиностроение. – 2015. – С. 133–138
6. Чичков Б.А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Часть 1. Эксплуатационная повреждаемость рабочих лопаток. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 74 с.
7. Строганов Г.Б., Чепкин В.М., Терентьева В.С. Жаропрочные покрытия для газовых турбин. – М.: Навигатор-Экстра, 2000. – 165 с.
8. Абраимов Н.В. Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
9. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Жаропрочные сплавы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Жаропрочные_сплавы)

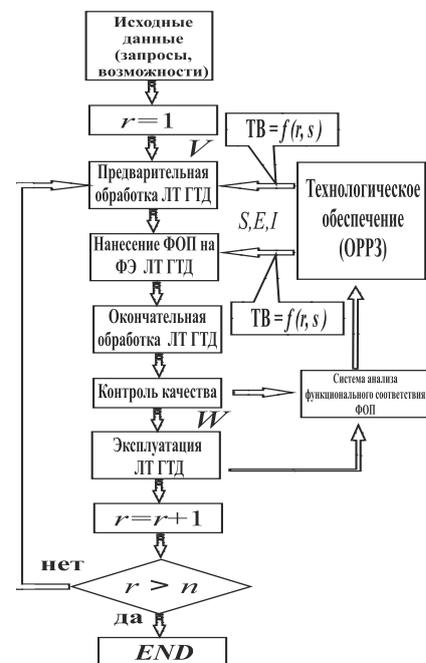


Рис. 6. Алгоритм повышения ресурса ЛТ ГТД

УДК 519.85:539.37:621.822

А.В. Хаустова, М.Д. Солодовник, М.Н. Кузнецова

Луганский национальный университет им. Владимира Даля

Луганск, 91034

e-mail: tm.univer@yandex.ru

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ
МЕТОДОМ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ**

Выявлены недостатки прежней технологии ротационного метода при изготовлении оболочковых изделий, и предложен новый подход в модернизации формообразующего узла, заключающийся в обеспечении двухсторонней (удерживающей) связи между рабочим инструментом и заготовкой. Соответствующая математическая модель позволяет определить границы антивибрационных режимов изготовления.

Ключевые слова: ротационная вытяжка, технологическая неустойчивость режима, условие пластичности, конструктивная модернизация, математическая модель, устойчивость новой технологии, качество готовой продукции.

A.V. Khaustova, M.D. Solodovnik, M.N. Kuznetsova

Luhansk National University named after Vladimir Dal,

Lugansk, 91034

e-mail: tm.univer@yandex.ru

**TECHNOLOGICAL STABILITY AT THE ROTATION SHELL MANUFACTURE
WITH ROTATION EXHAUST METHOD**

The shortcomings of the rotational method previous technology in shell product manufacturing are revealed and a new approach in the modernization of the forming unit, which consists in providing a two-way (holding) connection between the working tool and the workpiece, is proposed. The corresponding mathematical model allows to determine the boundaries of anti-vibration manufacturing modes.

Key words: rotational extraction, technological instability of the regime, plasticity condition, constructive modernization, mathematical model, stability of new technology, quality of finished products.

Ранее принятая технология производства несерийных оболочек основывалась на более чем 20 операциях обработки листовых заготовок путем пластической деформации, раскатки, загибки кромок, обжатия, выглаживания, накатки рифлений, шлифований и др. В холодном состоянии изготавливались оболочки из низкоуглеродистых сталей и медных листов толщиной от 2 до 5 мм и алюминиевых сплавов толщиной до 10 мм. Диаметр обрабатываемых изделий достигал от 30 до 1 500 мм. В настоящее время с нагревом доступным для изготовления применяются: более форматные нержавеющие стали, никель, молибден и т. д. С расширением возможностей ЧПУ и модернизированных обычных токарных станков отработана технология изготовления изделий методом ротационной вытяжки [1], при котором была принята гибкая ресурсосберегающая технология кругового изгиба зажатой круглой заготовки на токарном станке.

Готовые малогабаритные изделия применяются в судо- и авиастроении в качестве обтекателей и насадок, сопел, в химической промышленности в качестве корпусов крышек и днищ аппаратов, включая изделия бытового назначения, на пирсах небольших судоремонтных заводов в качестве тумб, буев и т. д.

Формообразование оболочки происходит под воздействием внешнего усилия со стороны ролика, создающего упругопластическое состояние заготовки и ее превращение в заданную форму [2].

На рис. 1 приведена схема внутренних и внешних усилий на малый участок оболочки в окрестности эллиптических точек, которые легко усматриваются на всех рисунках.

Касательные напряжения, действующие на элементарный участок срединной поверхности оболочки, из-за их очевидности показаны частично.

Как следует из анализа экспериментальных данных и логики процесса, максимальные деформации, граничащие с пластическими, имеют место в эллиптических и гиперболических (с отрицательной кривизной) точках. Соответствующие напряжения эквивалентны напряжениям в узкой кольцеобразной, на малом участке можно считать прямолинейной полосе, где при сравнительно высокой скорости вращения происходит ее изгиб и превращение в волнообразную форму, как образующий элемент оболочки.

Исходное дифференциальное уравнение относительно определяющего касательного напряжения $\tau_{r\theta}$ имеет вид

$$\frac{\partial^2 \tau_{r\theta}}{\partial r^2} + \frac{3}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \tau_{r\theta}}{\partial \theta^2} = \frac{2}{r} \frac{\partial^2}{\partial r \partial \theta} \sqrt{k^2 - \tau_{r\theta}}. \quad (1)$$

При условии пластичности

$$(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + 4\tau_{r\theta} = 4k^2, \quad (2)$$

где $k = \frac{1}{2} \sigma_T$, а σ_T – напряжение, соответствующее началу пластической деформации.

В качестве граничных условий для (1) необходимо взять нулевые значения $\tau_{r\theta}$ на верхней и нижней поверхностях оболочки, т. е.

$$\tau_{r\theta} = 0 \text{ при } r = R + \frac{h}{2}, R - \frac{h}{2}. \quad (3)$$

Следует отметить, что $\tau_{r\theta}$ принимает максимальное значение при $r = R$, т. е. в области срединной поверхности оболочки.

Вычислив $\tau_{r\theta}$, определяют остальные компоненты напряженного состояния в меридиональном сечении.

Для определения напряжений в широтном сечении по углу φ можно воспользоваться формулой Лапласа в теории оболочек [2]:

$$\frac{\sigma_\theta}{R} + \frac{\sigma_r}{\rho} = \frac{P}{h}, \quad (4)$$

где P – внешнее силовое воздействие на заготовку со стороны ролика.

Очевидно, что поле внутренних напряжений при условии (2) создает момент упругого сопротивления $M_{\text{упр}} = \sigma_T \frac{bh^2}{6}$ внешним воздействиям со стороны формообразующего ролика на вращающуюся заготовку с моментом $M_T = \sigma \frac{bh^2}{4}$, где b – ширина загиба заготовки при полном ее обороте.

Оба значения моментов вычислены из общей формулы

$$M = K_{1,2} \int_F \sigma_T \cdot h \cdot dF, \quad (5)$$

где dF – площадь элементарного сечения.

Значения моментов $M_{\text{упр}}$ и M_T , приведенных выше, позволяют представить условие пластичности в виде

$$M_{\text{упр}} \approx \frac{2}{3} M_T. \quad (6)$$

При быстровращающемся режиме следует учитывать и инерционную составляющую

$$d\Phi = \rho \omega^2 \iint r^2 d\theta dr, \quad (7)$$

иницирующую утонение заготовки и появление пластической деформации, предшествующей пластическому течению, что недопустимо из-за вероятного снижения несущей способности готовых изделий [2].

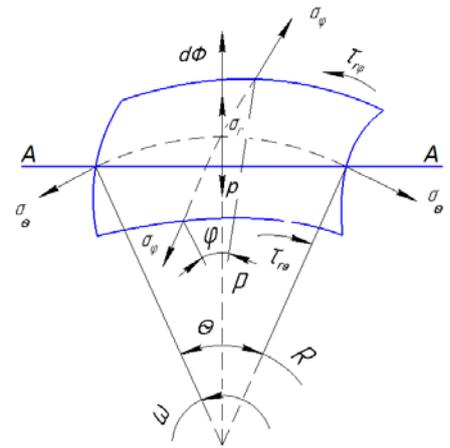


Рис. 1. Схема внутренних $\sigma_r, \tau_{r\theta}$ и внешних $P, d\Phi$ усилий

Следует отметить, что соотношения составляющих контактного давления формообразующего ролика на заготовку получены приближенно и сравнимы с многочисленными экспериментами публикациями [1], и имеют вид:

$$P_y > P_x = 0,4P_y, P_z \approx 0. \quad (8)$$

Эти соотношения необходимы для определения энергетических параметров станка, кроме того они позволяют сравнивать результаты аналогичных усилий резца при традиционных токарных операциях.

Как свидетельствуют эксперименты и производственное изготовление оболочек при движении ролика от места базового закрепления вдоль профиля оболочки к периферии, начинались и усиливались вибрационные явления, отрицательно влияющие на устойчивость формообразования, что было самым неожиданным явлением, когда оболочка уходила от ролика (выпрыгивала) с остановкой процесса изготовления. Практически невозможно перечислить количество попыток для устранения этого технологического несовершенства.

Исходя из вышеизложенного, в статье предложен новый способ формообразования, заключающийся в конструктивном обеспечении двухсторонней подвижной связи между оболочкой и внешним формообразующим роликом, совместно с внутренним поддерживающим роликом, синхронно движущимся со скоростью v по внешней и внутренней поверхности оболочки.

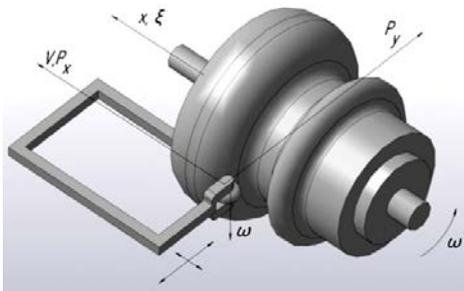


Рис. 2. Фрагмент разработанного узла формообразования

Заметим, что контакт внутреннего поджимного ролика смещен в противоположном направлении по отношению к внешнему ролику не менее чем на толщину h , эквивалентную длине миниконсоли заготовки шириной b для ее пластичного загиба. На рис. 2 показан разомкнутый G-образный узел, к концам которого крепятся формообразующий (внешний) и поддерживающий входящий внутрь оболочки ролик.

Ниже приводится решение упруго-пластической производственной динамической задачи устойчивости, не нарушающее некоторых предположений и предостережений одного из корифеев теории пластичности профессора МГУ А.А. Ильюшина в рассматриваемой проблематике, которые состоят в следующем:

- во-первых, новый конструктивный вариант формообразующего узла не нарушает соответствия между тензорами напряжений и деформаций благодаря обеспечению двухсторонней (удерживающей) связи между объектами силового воздействия и деформации;
- во-вторых, считая достаточно точными физические и технологические условия протекания процесса формообразования и следуя [3], допустимо упрощение математической модели, ограничиваясь одним исходным уравнением предельно упругой деформации заготовки без снижения несущей способности готовых изделий из-за утонения некоторых ее участков [2]:

$$\rho h \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + D \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + \left(\frac{2\mu D}{R^2} - \frac{P_x}{2\pi R} \right) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{12(1-\mu^2)D}{h^2 R^2} W = \frac{\mu P_x}{2\pi R^2}, \quad (9)$$

где $W(x, t)$ – искомый прогиб;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \text{ – цилиндрическая жесткость оболочки;}$$

P_x – осевая составляющая контактного усилия со стороны «бегущего» вдоль вращающейся оболочки ролика.

Непосредственное аналитическое решение этого уравнения в частных производных составляет известные затруднения. В связи с этим, осуществляя замену

$$x = \xi + vt, \quad (10)$$

приведем (9) к обыкновенному дифференциальному уравнению относительно $W(\xi)$:

$$D \frac{d^4 W}{d\xi^4} + (\rho h v^2 + \frac{2\mu D}{R^2} - \frac{P_x}{2\pi R}) \frac{d^2 W}{d\xi^2} + \frac{12(1-\mu^2)D}{h^2 R^2} W = \frac{\mu P_x}{2\pi R^2}. \quad (11)$$

Поскольку статический прогиб оболочки

$$W_{cm.} = \frac{1}{4} \cdot \frac{l^4}{D} \cdot \frac{\mu P_x}{2\pi R^2}, \quad (12)$$

то, допуская ряд упрощений, уравнению (11) можно придать окончательный вид, удобный для анализа:

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{d^4 W}{d\xi^4} + k \frac{d^2 W}{d\xi^2} + W = W_{cm.}, \quad (13)$$

где в известных представлениях

$$k = \frac{\rho h v^2 l^2}{4D} = \sqrt{3(1-\mu^2)} \frac{R}{h} \left(\frac{v}{c} \right)^2 \quad (14)$$

– параметр динамичности; c – скорость звука в материале заготовки, а k – отличается по смыслу от k в формуле (2).

Известно, что уравнению (13) соответствует характеристическое уравнение

$$\lambda^4 + 4k \cdot \lambda^2 + 4 = 0, \quad (15)$$

корни которого определяют общее решение (13), а с учетом частного – полное решение исходного уравнения в виде

$$W = W_{CT} + e^{\lambda_1 \xi} (a \cos \lambda_2 \xi + b \sin \lambda_2 \xi), \quad (16)$$

что характеризует рост амплитуды и приближение процесса колебаний к резонансу.

Из (14) при $k \rightarrow 1$ определяется значение критической скорости:

$$v_{kp} = \frac{c}{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}} \sqrt{\frac{h}{R}}, \quad (17)$$

значительно превышающее технологически допустимые режимы, что даже в экспериментах на всей длине оболочки $l \leq R - r_0$ не допускалось. Очевидно, что итоговая формула (17) подтверждает технологическую устойчивость и отсутствие явлений гофрирования на всех этапах изготовления изделий.

На рис. 3 показан один из экземпляров выставочного варианта изготовленной оболочки.

Выводы

1. Исследованы причины вибрационных явлений, проявляющихся увеличением амплитуды колебаний и частоты при производстве оболочковых конструкций. Установлено, что таковыми являются силовые воздействия деформационного ролика рабочего узла с одно-сторонним контактом с заготовкой.

2. Для устранения недопустимых амплитуд колебаний предложено новое устройство с дополнительным внутренним роликом, обеспечивающим двухсторонний (удерживающий) контакт роликов с оболочкой.

3. Проведено аналитическое обоснование технологии формообразования с определением недопустимых кинематических режимов изготовления.

4. Внедрение нового устройства позволило увеличить размеры оболочек по длине и разнообразить их архитектуру.

Литература

1. Могильный Н.И., Могильная Е.П. Автоматизированная ротационная вытяжка оболочковых изделий // Машиностроение. – 1998. – № 1. – С. 12–18.
2. Огибалов П.М., Колтунов М.А. Оболочки и пластины. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 695 с.
3. Ильющин А.А., Ленский В.С. О соотношениях и методах современной теории пластичности // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. – Ростов/на/Д., 1974. – № 3. – С. 3–11.

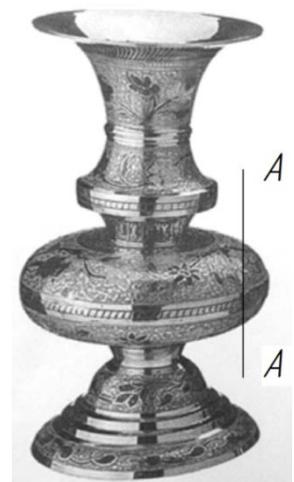


Рис. 3. Одна из «сложных» изготовленных оболочек

СЕКЦИЯ 7. ГУМАНИТАРНАЯ СЕКЦИЯ

УДК 332.14

В.А. Агеев

*Законодательное Собрание Камчатского края,
Петропавловск-Камчатский, 683000*

РЕАЛИЗАЦИЯ ОСОБОГО ПРАВОВОГО РЕЖИМА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАМКАХ ТЕРРИТОРИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ «КАМЧАТКА» И «СВОБОДНЫЙ ПОРТ ВЛАДИВОСТОК» В КАМЧАТСКОМ КРАЕ

В статье представлена информация об основных направлениях социально-экономического развития Камчатского края до 2030 года в рамках реализации особого правового режима осуществления предпринимательской деятельности на территории опережающего социально-экономического развития «Камчатка» и «Свободный порт Владивосток» и проведен анализ эффективности их реализации в настоящее время.

Ключевые слова: стратегия, социально-экономическое развитие, рыбохозяйственный комплекс, туристско-рекреационный комплекс, горнодобывающая промышленность, ТОР «Камчатка», Свободный порт Владивосток.

V.A. Ageev

*Legislative Assembly of Kamchatski Krai,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000*

THE IMPLEMENTATION OF THE SPECIAL LEGAL REGIME OF BUSINESS ACTIVITY WITHIN THE TERRITORY OF ADVANCING SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT "KAMCHATKA" AND "FREE PORT VLADIVOSTOK" IN KAMCHATSKI KRAI

The information about the main directions of socio-economic development of the Kamchatka territory until 2030 in the framework of the implementation of a special legal regime for entrepreneurial activity in the territory of advanced socio-economic development "Kamchatka" and "free port Vladivostok" is presented in the article. The effectiveness of their implementation at the present time is analyzed.

Key words: strategy, socio-economic development, fishery complex, tourist and recreational complex, mining industry, SED "Kamchatka", free port Vladivostok.

Стратегия социально-экономического развития Камчатского края до 2030 года (далее Стратегия) определяет стратегические перспективы развития, основанные на конкурентоспособности территории, включая историю становления края. Исходя из этого, миссия региона сформулирована следующим образом:

Камчатский край – форпост безопасности и представления геополитических интересов России в Азиатско-Тихоокеанском регионе; территория высокого качества жизни населения на основе сбалансированного социально-экономического развития с опорой на уникальные природные богатства региона.

Стратегическое видение перспектив развития Камчатского края определяется комплексом ресурсов и конкурентных преимуществ его социально-экономического положения и ориентирует развитие края на повышение качества жизни населения и роли края в экономике Российской Федерации.

Уникальные преимущества Камчатского края, определяющие его специализацию, сегодняшнее состояние социально-экономического развития края, а также миссия и видение региона, задают генеральную цель его социально-экономического развития.

Генеральной целью развития Камчатского края является формирование условий для устойчивого социально-экономического развития за счет оптимального использования уникальных ресурсов территории [1].

Таким образом, приоритетными направлениями развития экономики Камчатского края являются:

1. Устойчивое развитие рыбохозяйственного комплекса.
2. Развитие горнодобывающей промышленности как фактора диверсификации и усиления конкурентных преимуществ региональной экономики.
3. Создание конкурентоспособного туристско-рекреационного комплекса.
4. Развитие транспортной системы (в том числе создание условий для использования растущего потенциала Северного морского пути; формирования крупного узла грузовых авиационных перевозок на базе аэропорта «Петропавловск-Камчатский (г. Елизово)»).

Для реализации этих направлений Стратегии в Камчатском крае в настоящее время созданы три кластера: рыбохозяйственный, горнодобывающий и туристско-рекреационный.

Реализация правовых режимов по опережающему социально-экономическому развитию Камчатского края способствует выполнению генеральной цели развития экономики Камчатки и реализации работы этих кластеров.

Территория опережающего социально-экономического развития «Камчатка»

В соответствии с федеральным законом от 29.12.2014 № 473-ФЗ «О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации» (далее – Федеральный закон № 473) [2] и постановлением Правительства Российской Федерации от 28.08.2015 № 899 «О создании территории опережающего социально-экономического развития «Камчатка» (далее Постановление Правительства РФ № 899) с конца 2015 г. на территории Камчатского края действует особый правовой режим осуществления предпринимательской деятельности – ТОР «Камчатка» [3].

В настоящее время в нее входят территории 8 муниципальных образований из 11 и Петропавловск-Камчатский городской округ Камчатского края.

По состоянию на 24 сентября 2018 г. в рамках действия режима ТОР «Камчатка» заключено 72 соглашения с планируемым объемом инвестиций по проектам – 31 203,43 млн руб. и количеством создаваемых рабочих мест – 5 051 чел. На стадии подписания находятся еще 4 соглашения с планируемым объемом инвестиций по проектам – 4 226,09 млн руб. и количеством создаваемых рабочих мест – 270 чел. На рассмотрении в АО «Корпорация развития Дальнего Востока» и на доработке у потенциальных резидентов находятся 49 заявок с планируемым объемом инвестиций по проектам – 13 347,27 млн руб. и количеством создаваемых рабочих мест – 2020 чел. [4].

Таким образом, в ближайшее время в ТОР «Камчатка» будет 125 резидентов с общим объемом инвестиций в размере около 50 млрд руб. с созданием более 7 000 рабочих мест.

В настоящее время резидентами уже вложено в реализацию своих инвестиционных проектов более 4 239,13 млн руб. и создано 332 рабочих места, из которых 113 высокопроизводительных.

Соотношение объема частных инвестиций в проекты резидентов с объемом бюджетных средств, предусмотренных на создание объектов инфраструктуры ТОР «Камчатка», составляет – 3,66, с учетом заявок, находящихся на стадии подписания соглашения составляет 4,15, а с учетом заявок, находящихся на рассмотрении и доработке составляет – 5,72.

В соответствии со ст. 4 Федерального закона № 473-ФЗ и Постановлением Правительства РФ № 899 планом-графиком мероприятий по созданию объектов инфраструктуры ТОР «Камчатка» предусмотрено финансовое обеспечение мероприятий по созданию ТОР «Камчатка» за счет средств федерального бюджета – 5 727,5 млн руб. и за счет средств федерального бюджета – 2 804,08 млн руб. В настоящее время уже построены несколько дорог с линиями наружного освещения.

Туристско-рекреационный комплекс Камчатского края

Развитие туристско-рекреационного комплекса является одним из приоритетных стратегических направлений социально-экономического роста Камчатского края с учетом высокого уровня природно-рекреационного и культурно-исторического потенциала для развития внутреннего и въездного туризма.

Природно-ресурсный потенциал Камчатки представляет редкое сочетание возможностей для видов рекреационной деятельности, основывающихся на природных факторах развития.

Приоритетными направлениями государственной политики в сфере развития туризма Камчатского края являются:

- развитие инфраструктуры туристско-рекреационного комплекса региона;
- повышение качества туристских услуг;
- формирование комфортной информационной туристской среды;
- маркетинговое продвижение на мировом туристском рынке (в первую очередь в странах АТР), а также на внутреннем туристском рынке.

В перспективе имеют большое развитие спортивный, оздоровительный, познавательный туризм; санаторно-курортное оздоровление; зимние виды спорта; физическая культура и другие.

На площадке Туристско-рекреационного кластера «Паратунка» ИП Ветчинова уже построен и введен в эксплуатацию круглогодичный аквапарк «Чудо-Остров». Рассматривается вопрос о размещении на этой площадке рекреационных комплексов, спа-отелей, гостиниц, баз отдыха, санаториев и иных объектов для туризма и отдыха.

Кроме этого резидентами ТОР ведется строительство гостиничного двенадцатизэтажного пятизвездочного комплекса «Парус» и реконструкция и модернизация санаторно-курортного комплекса «Начикинский», предполагается строительство всесезонного международного горнолыжного курорта на базе нескольких площадок.

Потенциальными резидентами на площадках кластера «Зеленовские озера» планируется реализация проектов в туристско-рекреационной и бальнеологической сферах на Кеткинском месторождении термоминеральных вод.

На реализацию инфраструктуры кластеров «Паратунка» и «Зеленовские озера» выделены необходимые средства из федерального и регионального бюджетов. Строительство дорог и линия освещения уже завершены. Сейчас осуществляется подключение к сетям электро-, водо-, теплоснабжения и водоотведения.

Кроме этого на площадке кластера «Зеленовские озера» расположен и Агропарк, на котором предполагается возведение объектов тепличного и производственного назначения, которые смогут обеспечить эффективный процесс производства, хранения, переработки и реализации сельскохозяйственной продукции. В рамках ТОР также построен свинокомплекс «Камчатский», который практически полностью обеспечивает собственной свининой и мясной продукцией весь Камчатский край.

Рыбохозяйственный комплекс Камчатского края

Рыбохозяйственный комплекс исторически являлся основополагающей отраслью Камчатского края. Увеличению объемов производства в рыбохозяйственном комплексе препятствует низкая степень переработки водного биологического сырья. Нерациональным продолжает оставаться соотношение береговой и морской рыбопереработки.

Стратегической целью развития рыбохозяйственного комплекса Камчатского края является обеспечение его ускоренного развития и интеграции в международное хозяйство.

Приоритетными направлениями развития рыбохозяйственного комплекса Камчатского края являются:

- повышение уровня развития прибрежного рыболовства, а также мари- и аквакультуры (в частности лососеводства);
- проведение технической и технологической модернизации рыбодобывающего и рыбоперерабатывающего производства, способствующей инновационному развитию и привлечению инвестиций в рыбохозяйственный комплекс.

Резидентами ТОР ведется активное строительство рыбоперерабатывающих предприятий. Так, в 2018 г. компания «ВИТЯЗЬ-АВТО» построила в селе Устьево Камчатского края современный завод по переработке минтая мощностью 100 тонн готовой продукции в сутки. Компания «Укинский лиман» построила рыбоперерабатывающий завод на месте села Красное и вложила в создание нового производства – 188 млн руб. Это уже четвертый инвестиционный проект ООО «Тымлатский рыбокомбинат», реализуемый в рамках государственной программы Камчатского края «Развитие рыбохозяйственного комплекса Камчатского края».

Резидентами ТОР планируется строительство еще 5 предприятий, в том числе крупнейшей рыбоперерабатывающей фабрики Колхоза им. В.И. Ленина, которым уже приобретено три

суперсовременных рыболовецких судна, построенных в Калининграде в рамках программы «квоты под киль».

Развитие рыбохозяйственного комплекса Камчатского края будет направлено на обеспечение устойчивого роста рыбохозяйственного комплекса как одного из основных факторов экономического роста региона.

Планируется дальнейшее развитие прибрежного рыболовства, а также аква- и марикультуры в объемах, необходимых для восстановления, сохранения и расширения ресурсно-сырьевой базы рыболовства.

Горнодобывающая промышленность Камчатского края

Горнодобывающая промышленность является важным направлением диверсификации экономики Камчатского края. В настоящее время предприятия отрасли развиваются в условиях низкой степени изученности минерально-сырьевой базы региона, дефицита кадров и инфраструктуры. Большинство месторождений изучено лишь на поисковых стадиях, заканчивающихся оценкой прогнозных ресурсов, что ограничивает возможность их промышленного освоения в краткосрочной перспективе.

Стратегической целью развития горнодобывающей промышленности Камчатского края является обеспечение ускоренного развития отрасли как фактора, инфраструктурного развития и диверсификации экономики региона.

Приоритетными направлениями развития горнодобывающей промышленности Камчатского края являются:

- повышение эффективности системы управления горным комплексом Камчатского края;
- проведение в необходимом объеме геологоразведочных работ, подготовка запасов и ресурсов полезных ископаемых для промышленного освоения;
- стимулирование инвестиционной активности по освоению месторождений Камчатского края.

Предусмотрена разведка перспективных золоторудных объектов с возможностью наращивания к 2025 г. сырьевой базы в размере до 500 тонн золота и создания ГОКов с общим объемом добычи до 10 тонн золота в год. Увеличение объемов добычи драгоценных и цветных металлов, углеводородного сырья, твердых горючих ископаемых, строительных материалов предполагается за счет освоения разведанных месторождений.

На основе природных теплоносителей действующих геотермальных электрических станций ГеоЭС Мутновского месторождения предусмотрено создание предприятия по производству нанодисперсного диоксида кремния.

Планируется создание предприятия по добыче и переработке цеолитовых руд Ягоднинского месторождения для широкого использования в промышленности, сельском хозяйстве, экологии с годовой мощностью 25–50 тыс. т/год.

Рост добычи каменного угля обеспечит разработка Крутогоровского месторождения каменного угля, где планируется создание обогатительного комбината.

В настоящее время в рамках ТОР заключено соглашение о сотрудничестве между Правительством Камчатского края и индийской компанией «TataPower» по освоению Крутогоровского месторождения каменного угля в Камчатском крае. В случае реализации этого проекта – это будет крупнейший инвестиционный проект для Камчатки с объемом вложений более 500 млн долларов.

В рамках развития промышленного потенциала края планируется в рамках ТОР строительство промышленного парка «Дальний». На его территории предполагается реализация проектов в сфере перерабатывающей промышленности, производства строительных материалов, ремонта технического оборудования и транспортных средств, изготовления орудий рыбного промысла, а также осуществление транспортно-логистической деятельности (обработка, хранение и организация транспортировки грузов).

Крупнейшим транспортным инфраструктурным объектом в рамках ТОР становится реконструкция аэропорта «Елизово» АО «Аэропорты Регионов» и АО «Международный аэропорт Петропавловск-Камчатский (Елизово)». Это возведение здания нового пассажирского терминала площадью более 34 тыс. кв. м, которое будет оснащено телетрапами и будет также включать в себя инфраструктуру торгового центра и гостиницы. Стоимость реализации проекта составляет 7 830 млн руб. Ввод нового аэровокзального комплекса в эксплуатацию ожидается в 2021 г.

Правительством края подписан меморандум с компанией «Новатэк» о строительстве Морского перегрузочного комплекса сжиженного природного газа в районе восточного побережья Камчатки. Это будет самый крупный инвестпроект Камчатского края с объемом более 70 млрд руб.

Таким образом, ТОР «Камчатка» активно развивается, в нее включаются все новые территории, и в ближайшее время будет 125 резидентов с общим объемом инвестиций в размере около 50 млрд руб. с созданием более 7 000 рабочих мест.

Свободный порт Владивосток в Камчатском крае

В соответствии с федеральным законом от 13.07.2015 № 212-ФЗ «О свободном порте Владивосток» с начала 2017 г. на территорию Петропавловск-Камчатского городского округа распространены особый правовой режим осуществления предпринимательской деятельности свободного порта Владивосток (далее СПВ) [5].

По состоянию на 24 сентября 2018 г. в рамках действия режима свободного порта Владивосток в Камчатском крае заключено 103 соглашения с планируемым объемом инвестиций по проектам – 7 346,70 млн руб. и количеством создаваемых рабочих мест – 1492 чел. На стадии подписания находятся еще 7 соглашений с планируемым объемом инвестиций по проектам – 147,88 млн руб. и количеством создаваемых рабочих мест – 130 чел. На рассмотрении в АО «Корпорация развития Дальнего Востока» и на доработке у потенциальных резидентов находятся 14 заявок с планируемым объемом инвестиций по проектам – 2 153,1 млн руб. и количеством создаваемых рабочих мест – 140 чел. [6].

В настоящее время резидентами уже вложено в реализацию своих инвестиционных проектов 1 055,97 млн руб. и создано 164 рабочих места, из которых 113 высокопроизводительных.

В целях стимулирования резидентов ТОР «Камчатка» и СПВ приняты изменения в краевые законодательные акты об установлении ставок по налогу на прибыль и налогу на имущество организаций, являющихся резидентами свободного порта Владивосток в Камчатском крае – налог на прибыль 5% в течение пяти налоговых периодов, 10% в течение следующих пяти налоговых периодов; налог на имущество – 0% в течение пяти налоговых периодов.

Приняты поправки в нормативно-правовой акт по установлению льгот по земельному налогу для резидентов Свободного порта Владивосток в г. Петропавловске-Камчатском и муниципальных образований для резидентов ТОР «Камчатка». Установлены отдельные преференции для резидентов ТОР «Камчатка» и СПВ.

Для реализации проектов ТОР «Камчатка» и СПВ создано Агентство приоритетных проектов развития Камчатского края, которое осуществляет функции по реализации региональной политики и нормативному правовому регулированию в сфере создания и функционирования ТОР «Камчатка», территорий СПВ в Камчатском крае, а также предоставления гражданам земельных участков в соответствии с Федеральным законом от 01.05.2016 № 119-ФЗ.

С целью наиболее эффективной реализации мероприятий по созданию инфраструктуры ТОР «Камчатка» и привлечению потенциальных резидентов создано дочернее общество ООО «Управляющая компания территории опережающего социально-экономического развития «Камчатка», осуществляющее функции управления ТОР «Камчатка» и обеспечивающего ускоренное социально-экономическое развитие и создание комфортных условий жизнедеятельности населения Камчатского края.

Кроме этого создана специализированная организация по работе с инвесторами – акционерное общество «Корпорация развития Камчатского края». В настоящее время в инвестиционном портфеле этого института развития региона находится на сопровождении 74 инвестиционных проекта на общую сумму около миллиарда долларов. Среди них такие стратегически значимые для региона проекты, как новый аэровокзальный комплекс, международный аэропорт Петропавловска-Камчатского, краевая больница. 43 инвестиционных проекта на сумму почти 17 с половиной миллиардов рублей, инициаторы которых начиная с 2016 г. обратились за поддержкой и сопровождением в Корпорацию развития Камчатки, получили статусы резидентов ТОР «Камчатка» и СПВ.

Исходя из вышеизложенного, считаем, что в целом реализация проектов ТОР «Камчатка» и Свободный порт Владивосток позволит преобразить Камчатский край, увеличить туристический поток с перспективой роста до 820 тысяч туристов, увеличить прирост ВРП Камчатского края на 15–20%, а также создаст условия, способствующие вложению инвестиций

частного капитала в транспортный комплекс, промышленность, туризм и другие отрасли региона, что существенно повысит эффективность экономики Камчатки и всего Дальнего Востока России в глобальном масштабе.

Литература

1. Стратегия социально-экономического развития Камчатского края до 2030 года, утв. 27 июля 2010 года Постановлением Правительства Камчатского края № 332-П (в редакции от 09.01.2018).
2. О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2014 года № 473-ФЗ (в редакции от 03.08.2018).
3. О создании территории опережающего социально-экономического развития «Камчатка»: Постановление Правительства Российской Федерации от 28 мая 2015 года № 899 (в редакции от 18.12.2017).
4. URL: <https://www.kamgov.ru/appr/tor-informacia>
5. О свободном порте Владивосток: Федеральный закон от 13 июля 2015 года № 212-ФЗ (в редакции от 03.07.2018).
6. URL: <https://www.kamgov.ru/appr/spv-informacia>.

УДК 372.462

Т.Г. Гуковская, И.П. Витренко

Луганский национальный университет им. Владимира Даля

Луганск, 91034

e-mail: vitrenko.ir@gmail.com

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕКСИЧЕСКИХ ФРАЗ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПИСЬМЕННОЙ РЕЧИ

В статье рассматривается роль изучения лексических фраз при обучении письменной иноязычной речи. Лексические фразы являются организующими элементами письменного высказывания. Их изучение способствует развитию навыков понимания письменного текста и, впоследствии, создания собственных письменных высказываний. В условиях постоянного развития языка необходим творческий подход к выбору лексических фраз для изучения.

Ключевые слова: письменное высказывание, лексические фразы, дискурс, маркер.

T.G. Gukovskaya, I.P. Vitrenko

Lugansk National University named after Vladimir Dahl,

Lugansk, 91034

e-mail: vitrenko.ir@gmail.com

THE PROBLEM OF LEXICAL PHRASES USING FOR WRITTEN SPEECH TRAINING

The role of studying lexical phrases in teaching written foreign language speech is analyzed. Lexical phrases are the organizing elements of a written statement. Their study contributes to the development of skills of understanding the written text and, subsequently, the creation of their own written statements. In the conditions of continuous development of the language a creative approach to the choice of lexical phrases for learning is necessary.

Key words: written statement, lexical phrases, discourse, marker.

Any person learning a foreign language can't deny that learning to write well is a difficult task and it takes much time to master this type of activity. It is important for many people especially for those taking a Master degree course, studying a foreign language to learn how to write in English. That is why more and more attention is given to teaching writing. Writing may be considered as a process of mastering a foreign language as well as an opportunity for students to develop confidence in using language. On the other hand, writing is a creative process and it helps to learn to communicate one's ideas clearly. To become a proficient in writing one needs a lot of practice.

One of the problems facing English language teachers is to teach future specialists writing and to be more precise to teach scientific writing. Writing may be considered as a language production similar to speaking in that it uses the same lexical phrases. Nowadays, a lot of researchers view the written text as the result of co-operative process and not as structural products isolated from the context. Writing is a social process which is used, like a speaking, to exchange information. Many researchers consider that writers and readers discover the meaning of the written text through a process rather than finding appropriate structures to fit the already developed ideas. Different types of business and personal letters, memos, and notes present interactional writing because their main aim is to maintain social relationship. On the other hand, such examples of written language as newspaper articles, scientific papers, essays, reviews, reports, and other types of students' writings are mainly aimed at conveying factual information to readers and not meant for maintaining social relationships. That is why lexical phrases which are used in written language reflect this purpose.

Lexical phrases which are used in written language are those that function as signaling the general direction and organization of the written text; marking relationship between topics, evaluations, and indicating the flow of the text. Lexical phrases denoting conversational maintenance are used not so widely in written language as in spoken language. They are usually used to introduce the topic and to close the discourse. Lexical phrases used to clarifying something, shifting topics, checking comprehension are also introduced into a written language.

Lexical phrases used in writing are somewhat distinct from those used in spoken language. For example, to shift the topic in writing we usually find such phrases as Let me start with ...; What I's like to say is.... Conversational clarifies in written language become less personalized: it means, it is considered to be, is taken to mean. This may be explained by the fact that writer, unlike speakers, do not have any direct contact with their audience and can't establish immediate meaning during their written communication. Writers can only anticipate the reaction of their readers, so they should consider how much background and clarifying information should be provided for the written message to be interpreted in the right way. They should be sure that the message they write is integrated to a high degree.

Writer spend much more time to edit their writings that is why they use longer and more complicated phrases. Written language is characterized by complex noun groups, parallel phrases, sequences of prepositional phrases, and relative clauses. Integration in written language is characterized by phrases which evaluate statements by phrasal logical connectors: because of ..., in spite of ...; by impersonal evaluators: make us believe that something is more important than...; and by subordinate clauses.

As far as writing cannot depend on immediate context and its purpose is to transfer information, it uses language that shows its distance from writer and reader. So, writing is characterized by detachment. The detachment is shown by passive phrases such as: is reflected in..., has been noted...; by literary phrasal constraints: is conducive..., is equal to.... Some lexical phrases show writer's mental processes and are intended to clarify something: you know..., I mean ..., and are characteristic both to speaking and to informal writing.

Such lexical phrases can be considered as organizers of the written text. They signal the organization of high-level information: mark topics, signal the shifts in topics, present summary of topic, specify relationships between topics and present evaluations and qualifications.

Organizers which signal the high-level information in transactional spoken or written discourse should be distinguished from signals of low-level information such as well, I see, sure and alike which can be considered the words to fill the pause.

The problem facing the teachers of foreign language is the problem of using the lexical phrases approach in teaching comprehension and which is even more difficult in comprehension of written discourse. One of the major applications of organizers functions in comprehending discourse is the comprehension of written academic lectures. It should be stated that these organizers are not used in the same way as they are commonly used. They are mainly used as organizers of more formal, literary type in written texts, and not of the more informal conversational type. In the given article we have made an attempt to look at this problem from a lexical phrase approach and to investigate in what way he students' knowledge of lexical phrases can help them to improve comprehension of written texts.

In majority of cases, written academic presentations conform to the description of oral presentations. They are mainly transactional and contain many phrases that serve as clichés. These phrases function as important signals because they indicate how the information in the written text is organized and how it should be evaluated.

The discourse of written academic presentation just as any other transactional discourse is a mixture of transactional and the interactional. In written academic presentations there is little interactional phrases consisting of greetings, partings, and other social discourse.

In the transactional phase of the written academic presentation other organizers occur from time to time in order to serve as a frame for the general outline of the content which shows how the parts of the written presentation are interrelated. The lexical phrases used for these purpose are more literal and they have less variability. For example, such organizers as: if you look at ... you will find ..., now look what is going here ..., let's turn to ..., that bring us to ..., so the theory goes..., are common in written presentations discourse, especially in science presentations. So students should be aware that such organizers are very important for the purpose of comprehension of written academic presentations and other transactional discourse. That is why the students should learn them as useful vocabulary for the purpose of written presentation comprehension. They should be taught to recognize and analyze lexical phrases and they should learn how to segment and construct new lexical phrases based on the knowledge of lexical phrases. The emphasis should be made on lexical phrases which usually occur in written academic discourse and not on those which are used in ordinary conversational discourse.

It is advisable to teach higher-school students to recognize lexical phrases and their functions as organizers in written discourse instead of learning how to produce organizers. It could be done through integration of such lexical phrases into reading and vocabulary classes. To provide an appropriate con-

text one may use academic presentations transcripts. Through the analysis of complete transcripts, students can be taught organizations patterns and paraphrasing. The teaching of lexical phrases should be done systematically. The students could start with some of the most widely used but simple ones which occur in the transcripts they are working with. The students should be encouraged to recognize and analyze new lexical phrases on their own in a way they did it in the classroom.

As it was shown in the article, lexical phrases are basic units in written language production which proved to be significant guides for mastering written language. Further investigation of the usage of lexical phrases which occur in written discourse and how they are used in particular situations are required. Some researchers state that the structures used in text-books for certain functions may be very infrequent in transcripts. Very often quite unexpected structures actually occur. Another problem is that language is continually changing to fit the situations in which it is used that is why we should keep in mind that lexical phrases can be an effective means showing the language changeability.

Literature

1. *Brown K., Hood S.* Writing matters. – Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
2. *Spark R.* Guidelines: A cross-cultural reading/writing text. – New York: St.Martin's, 1990.

УДК 504.5

А.Д. Казанбаев, Е.В. Чабанова

*Пермский филиал
Волжского государственного университета водного транспорта,
Пермь, 614060
e-mail: jentosina@yandex.ru*

ПРОБЛЕМА ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

С течением времени человек пришел к осознанию необходимости коренных трансформаций в отношении к окружающей среде и его роли в окружающем мире. Сохранение и создание на Земле благоприятных природных условий жизни, гармонизация развития техносферы и природы возможны исключительно благодаря решению экологических проблем. На сегодняшний день загрязнение окружающей среды транспортом – одна из основных проблем. Загрязнение биосферы происходит от отходов эксплуатационной деятельности, а также от выбросов в случаях аварий с токсичными грузами, в основном нефтью и нефтепродуктами.

Ключевые слова: экология, транспорт, безопасность, внутренний водный транспорт.

A.D. Kazanbaev, E.V. Chabanova

*Perm branch
of Volga State University of Water Transport,
Perm, 614060
jentosina@yandex.ru*

PROBLEM OF HARMFUL TRANSPORT IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Over time people have come to realize the need for fundamental transformations in relation to the environment and its role in the world. The preservation and creation of favorable natural conditions of life on Earth, the harmonization of the technosphere and nature development are possible only through the solution of environmental problems. Today environmental pollution by transport is one of the main problems. Pollution of the biosphere comes from operating waste as well as from emissions in cases of accidents with toxic goods, mainly oil and petroleum products.

Key words: ecology, transport, safety, inland water transport.

Одним из основных направлений, сформулированных для достижения целей «Транспортной стратегии РФ до 2030 года», является улучшение состояния окружающей среды: «...в условиях усиления внимания общества к экологическим факторам снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду имеет большое социальное значение и может оказать значительное влияние на развитие городских агломераций...» [3].

Экологизация деятельности транспорта возможна при применении таких преобразований, как институциональные и структурные. Они могут позволить обеспечивать обновленную модель хозяйствования, в том числе предоставить возможность широко распространить экологически ориентированный метод управления [1].

Под термином новая модель хозяйствования в данном случае принимаем экологически идеальную структуру техносферы, основанную на возможности многоразового потребления и предотвращения процесса загрязнения окружающей среды.

Одним из основных решений в борьбе с экологическими проблемами в настоящее время является проведение природоохранных мероприятий, которые в свою очередь требуют серьезных финансовых затрат, не всегда отвечая поставленным задачам по охране окружающей среды.

В этой связи наиболее перспективным является направление по предотвращению загрязнения окружающей среды как эффективный способ регулирования техногенного давления на природу.

Однако данный способ является недостаточно разработанным, поскольку только 20% инвестиционных средств, направленных на защиту окружающей среды, направлены на создание и применение технологий, предотвращающих загрязнение [2].

К подобной технологии можно отнести реализацию малоотходного и безотходного производства, а также в процессе производства управление загрязняющими веществами. Однако массовое распространение данные технологии не получили из-за технических и экономических трудностей и ограничений, хотя некоторые научные результаты в создании безотходного и малоотходного производства в некоторых сферах были достигнуты.

Актуальным представляется развитие направления, опирающегося на наличествующие уровни производства с возможностью базирования на механизмах управления нагрузкой на окружающую среду.

Применительно к транспортной отрасли необходимо принимать во внимание современные методы и способы по регулированию перевозочного процесса, связанные с международными транспортными коридорами, предполагающими комплексное применение водного, автомобильного и железнодорожного транспорта [2].

Поэтому с целью уменьшения загрязнения окружающей среды необходимо использовать там, где это возможно, наиболее экологически чистый вид транспорта, не влияющий на общий объем перевозок. При оценке уровня экологической чистоты перечисленных выше видов транспорта было выяснено, что наиболее экологически чистым видом является водный транспорт [4].

Более того, необходимо отметить, что только внутренний водный транспорт не нарушает естественный облик окружающей среды. Поэтому считаем, что одним из направлений по предотвращению загрязнения окружающей среды транспортом является применение внутреннего водного транспорта.

На международном уровне решение данного вопроса включено в задачи Комитета по внутреннему транспорту (КВТ) Европейской экономической комиссии (ЕЭК) Организации Объединенных Наций (ООН) [5].

Не только сложную технико-экономическую, но и социально-экономическую систему, имеющую многосторонние связи с окружающей средой представляет собой внутренний водный транспорт. Однако данный вид транспорта также наносит вред окружающей среде. Основными источниками загрязнения являются суда и береговые объекты, такие как:

- портовые сооружения;
- судоремонтные, -строительные заводы;
- ремонтно-эксплуатационные базы;
- базы технического обслуживания флота.

В процессе эксплуатации к основному источнику загрязнения относится судовая двигатель, судовая энергетическая установка, в том числе вода, используемая для мытья танков, а также балластная вода. Вместе с отработанными газами в воду попадают масло, несгоревшее топливо, сернистые соединения и др.

Исследования экологии и окружающей среды при взаимодействии с внутренним водным транспортом отражены в работах А.И. Телегина, В.Л. Этина, И.Б. Гредасовой, А.С. Курниковой и др. [6–8].

Анализ исследований в области загрязнения окружающей среды внутренним водным транспортом показал, что основным направлением является обеспечение экологической безопасности судов, безопасности же береговых объектов уделено мало внимания. В этой связи задача предотвращения загрязнения окружающей среды береговых объектов очень актуальна.

Выделяют три направления при взаимодействии природопользования и производства:

- направление производства и потребления;
- направление обработки и утилизации отходов в качестве вторсырья;
- направление, охватывающее природоантропогенные объекты и процесс природопользования.

Исследования по процессам взаимодействия данных сфер позволяют определить некоторые пути оптимального функционирования.

Во-первых, это совершенствование процесса, протекающего в данных сферах, который можно рассматривать в качестве задачи на долгую перспективу, в связи со значительными затратами.

Во-вторых, это стратегия обеспечения планомерного достижения поставленных целей удобным способом. Данное направление предусматривает применение эффективных средств управления производством на базе современных информационных технологий, опирающихся на имеющееся производство и обработку отходов.

Таким образом, можем сделать вывод, что транспортная отрасль является одним из самых важных составных элементов экономики РФ, одновременно сопровождающаяся с серьезным негативным воздействием на окружающую среду. Решение проблем оптимального природопользования является одним из приоритетных направлений развития транспортной отрасли страны.

Литература

1. О состоянии окружающей природной среды в Российской Федерации в 1999 г.: Государственный доклад. – М.: РЭФИА, 2000. – 198 с.
2. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р.
3. *Этин В.Л., Наумов В.С.* Роль экологического аспекта деятельности речного транспорта в развитии перевозок на внутренних водных путях. – Н. Новгород: Изд. ВГУВТ, 2016. – С. 105–109.
4. Программа работ Стратегии КВТ ЕЭК ООН до 2030 года. TRANS / SC. 3/2018/2, 1 August, 2018.
5. *Барац В.А., Николаев М.В., Эльпинер Л.И.* Водоснабжение судов речного флота. – М.: Транспорт, 2000. – 144 с.
6. *Дегтярев В.В.* Охрана окружающей среды. – М.: Транспорт, 2001. – 212 с.
7. *Зубрилов С.П., Ищук Ю.Т., Косовский В.И.* Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. – Судостроение, 2009. – 216 с.
8. *Курников А.С.* Концепция повышения экологической безопасности судна: Монография. – Н. Новгород: Изд-во ВГАВТ, 2002. – 80 с.

УДК 001.89

**А.Н. Михайлов¹, Д.А. Михайлов², Е.А. Шейко², А.В. Костенко³,
А.В. Лукичев¹, Т.В. Хавлин¹, А.П. Пичко¹**

¹ *Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001;*

² *Академия гражданской защиты МЧС ДНР,
Донецк, 283050;*

³ *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: mntk21@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДОНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

В представленной статье рассмотрены вопросы, связанные с особенностями развития Донецкой научной школы технологов-машиностроителей. Приведены научные направления, решаемые в Донецком национальном техническом университете. Показаны принципы и методы решения научных проблем, стоящие перед учеными и специалистами данной научной школы. Показано оборудование лаборатории кафедры «Технология машиностроения», на базе которой ведется повышение параметров качества изделий машиностроения.

Ключевые слова: научная технологическая школа, повышение качества, эффективность, научные направления, отделочно-упрочняющая обработка.

**A.N. Mikhailov¹, D.A. Mikhailov², E.A. Sheiko², A.V. Kostenko³,
A.V. Lukichev¹, T.V. Khavlin¹, A.P. Pichko¹**

¹ *Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283001;*

² *Academy of Civil Protection of the Emergency Situations Ministry of the DPR,
Donetsk, 283050;*

³ *Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: mntk21@mail.ru*

FORMATION AND DEVELOPMENT OF DONETSK SCIENTIFIC SCHOOL FOR PRODUCTION AND MECHANICAL ENGINEERS

The issues connected with the peculiarities of the Donetsk scientific school development of production and mechanical engineers are considered in the article. Scientific directions developed in Donetsk National Technical University are given. The principles and methods for solving scientific problems facing scientists and specialists of this scientific school are shown. The equipment of the laboratories of the Technology of machine-building Chair is shown, on the basis of which the quality parameters of engineering products are improved.

Key words: scientific technological school, improving, efficiency, scientific directions, finishing-hardening processing.

В настоящее время важнейшими задачами, стоящими перед машиностроением Донецкой народной республики, являются следующие направления:

- определение целесообразности возобновления и/или восстановления производства продукции на данном предприятии или заводе;
- возобновление работы предприятия или восстановление мощностей предприятия для производства продукции, выпускаемой ранее, или для новой продукции;
- ускоренное инновационное развитие предприятий;
- повышение уровня коммерциализации отечественных прикладных разработок;
- опережающее развитие фундаментальных научных разработок, внедрение новых технологий и освоение нового продукта;

– переориентация производства на научно-технический вариант экономического развития, в основе которого лежит полный цикл инновационного развития «Наука – технологии – производство – сфера потребления».

На решение этих задач направлена деятельность различных государственных структур Донецкой народной республики, в том числе и Донецкого национального технического университета, которые в целом определяют техническую политику развития народного хозяйства и машиностроения в частности.

Можно отметить, что Донецкий национальный технический университет активно включился в процесс возобновления, восстановления и развития производства продукции машиностроительных заводов в Донецкой народной республике. Сотрудники университета творчески участвуют в решении ряда важнейших вопросов, возникающих в машиностроении нашего региона. Особое значение в решении вопросов активизации производства занимают научные школы, которые сейчас творчески продолжают свою деятельность в Донецком национальном техническом университете. Именно ученые и специалисты научных школ имеют достаточный опыт, возможности и необходимый потенциал для выработки перспективной технической политики для возобновления, восстановления и развития производства продукции машиностроительных заводов. А также комплексно могут участвовать в решении фундаментальных и прикладных проблем машиностроения.

В процессе решения сложных научно-технических вопросов машиностроения активно работают ученые и специалисты Донецкой научной школы технологов-машиностроителей Донецкого национального технического университета. Становление Донецкой научной школы технологов-машиностроителей в Донецком национальном техническом университете начало реализовываться в конце прошлого века, а именно во второй половине 90-х годов.

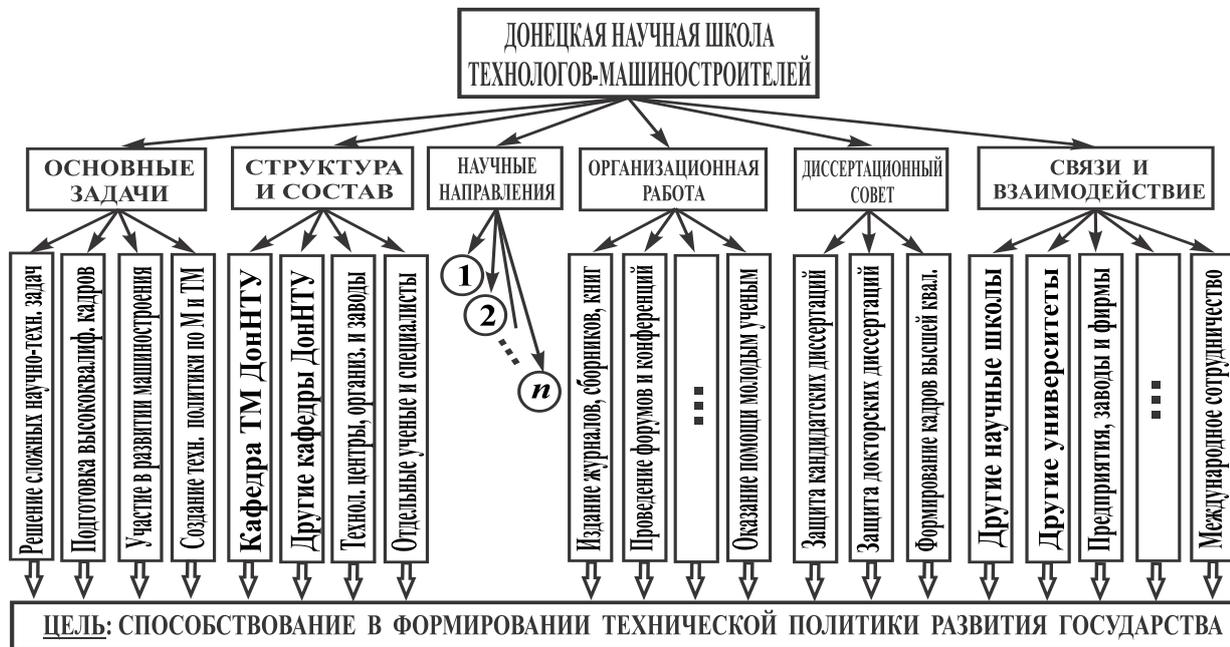
В период своего развития ученые и специалисты Донецкой научной школы технологов-машиностроителей активно занимались научно-исследовательской работой. Тематика этих исследований имела широкую технологическую гамму, определяемую нуждами не только Донецкого и соседних регионов, но и потребностями международного уровня. В 1998 г. был создан первый в регионе специализированный совет по защите диссертационных работ по технологии машиностроения. В этом совете успешно защищались кандидатские и докторские диссертации сотрудников нашего и других университетов. На кафедре «Технология машиностроения» велась подготовка специалистов высшей квалификации для Туниса и Ирака, которые успешно защищали диссертации в созданном специализированном совете. Значительно активизировалось международное сотрудничество. При этом с 1993 г. начали издаваться научно-технические сборники, в которых публиковались результаты исследований, выполняемых в диссертационных работах. А также ученые и специалисты активно начали участвовать, организовывать и проводить ряд международных научно-технических конференций и семинаров в Украине, России, Румынии, Молдове и Тунисе. Кроме того, они начали творчески работать в редакционных коллегиях научно-технических сборников трудов, издаваемых в Донецке, Москве, Киеве, Брянске, Вильнюсе, Яссах, Армении и других городов, имеющих европейские и российские индексы научного цитирования. Более того, ученые Донецкой научной школы технологов-машиностроителей включились в работу редакционных коллегий научных сборников и журналов издательства «Машиностроение» (г. Москва, Россия). Издавались основополагающие статьи, монографии и учебники на русском, французском, немецком и английском языках [3 и др.].

В настоящее время, несмотря на существующие проблемы, ученые и специалисты Донецкой научной школы технологов-машиностроителей продолжают активно работать в новых условиях, участвуют в процессах возобновления, восстановления и развития производства продукции машиностроительных заводов в Донецкой народной республике. При этом творчески продолжается научно-техническая и международная работа. С декабря 2015 г. уже в рамках Министерства образования и науки Донецкой народной республики возобновлена работа диссертационного совета по защитах кандидатских и докторских работ по специальности 05.02.08 – технология машиностроения.

Основные особенности работы Донецкой научной школы технологов-машиностроителей в новых условиях можно представить в виде схемы (см. рисунок). Эти особенности базируются на группе составляющих, которые можно представить следующими элементами:

- основные задачи, которые стоят перед научной школой;
- структура и состав научной школы;

- научные направления, на базе которых создана научная школа;
- организационная работа научной школы;
- диссертационный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций в области машиностроения;
- связи и взаимодействия с заводами, предприятиями, организациями, университетами, учеными и специалистами региона и на международном уровне, а также решение других важнейших проблем.



Структурная схема состава Донецкой научной школы технологов-машиностроителей

Основные научные направления, по которым работают сейчас ученые и специалисты Донецкой научной школы технологов-машиностроителей являются следующие:

1. Создание технологий и технологических систем нового поколения нормальной, высокой и сверхвысокой производительности (д.т.н., профессор Михайлов А.Н., к.т.н., доцент Ищенко А.Л., к.т.н. доцент Чернышев Е.А., к.т.н. доцент Буленков Е.А., инженер Кульбида О.О.).
2. Синтез функционально-ориентированных технологий машиностроения для различных деталей машин (д.т.н., профессор Михайлов А.Н., к.т.н., доцент Лукичев А.В., к.т.н., доцент Костенко А.В., к.т.н., доцент Лахин А.М., инженер Мищук П.А.).
3. Структурный синтез комбинированных и гибридных технологий машиностроения (д.т.н., профессор Михайлов А.Н., к.т.н. доцент Сидорова Е.В., ассистент Петряева И.А.).
4. Разработка технологий нанесения сверхпрочных функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных и детонационных покрытий изделий машиностроения (д.т.н., профессор Михайлов А.Н., ассистент Петряева И.А., аспирант Петров М.Г.).
5. Синтез новых технологий и методов производства пространственно-модифицированной геометрии зубьев и пространственных зубчатых колес (профессор Михайлов А.Н., к.т.н., доцент Грубка Р.М., к.т.н., профессор Горобец И.А., доцент Польшенко В.В.).
6. Совершенствование технологии обработки хрупких неметаллических материалов (д.т.н., профессор Михайлов А.Н., к.т.н., профессор Горобец И.А., к.т.н. доцент Байков А.В., ст. преподаватель Голубов Н.В.).
7. Исследование обрабатываемости труднообрабатываемых материалов посредством применения специальных смазочно-охлаждающих технологических средств (к.т.н., доцент Коваленко В.И., к.т.н., доцент Сидорова Е.В.).
8. Разработка методов и методологии определения качества инструментов машиностроения (к.т.н., доцент Ивченко Т.Г., ассистент Петряева Е.В.).
9. Совершенствование методики внедрения CALS-технологий в промышленность и учебный процесс (к.т.н., профессор Горобец И.А.)

Эти научные направления являются принципиально новыми для технологии машиностроения. На базе этих научных направлений можно решать вопросы обеспечения качественно новой совокупности свойств изделий машиностроения.

Особенно следует отметить, что с 2014 г. ученые и сотрудники кафедры «Технология машиностроения» Донецкого национального технического университета проводят большую работу по совершенствованию следующих лабораторий:

1. Функционально-ориентированных ионно-плазменных технологий по напылению покрытий для деталей авиационных газотурбинных двигателей.

2. Специальных функционально-ориентированных детонационных технологий для напыления покрытий из керамики, твердого сплава, нержавеющей стали, цветных металлов, композитных и композиционных материалов.

В заключение можно отметить то, что Донецкая научная школа технологов-машиностроителей имеет большой потенциал в области создания и внедрения новых прогрессивных технологий. Поэтому в настоящее время ученые и специалисты научной школы активно участвуют в решении насущных проблем машиностроения региона.

Литература

1. Демин В.П., Михайлов А.Н. Инновации, инвестиции – основа развития предприятий машиностроения Донецкой области // Известия ТРТУ-ДонНТУ. Материалы Пятого Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 2-х кн. Кн. 1. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – № 4. – С. 6–10.

2. Михайлов А.Н. Основы проектирования и автоматизации производственных процессов на базе технологий непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 421 с.

3. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

4. Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Михайлов Д.А. Основы синтеза композиционных технологий машиностроения // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: НУ «Львівська політехніка». – 2011. – № 713/ – С. 23–31.

5. Пристрій для обертання стрижневих виробів у вакуумній камері іонно-плазмової установки: Патент України на корисну модель № 94961. В23Р 15/00 / Маджид А.Х., Михайлов О.М., Михайлова О.О. Дата подання заявки 11.09.2009, БИ №5 від 10.03.2010. – 6 с.

6. Спосіб синтезу виробів: Патент України на корисну модель № 57611. МПК В22А7/02 / Михайлов О.М., Сидорова О.В. Дата подання заявки 08.07.10, БИ №5 від 10.03.2011. – 12 с.

7. Спосіб виготовлення виробу з порошкового матеріалу: Патент України на винахід №94197. МПК В22F 3/105 / Михайлов О.М., Сидорова О.В. Дата подання заявки 05.07.10, БИ № 7 від 11.04.2011. – 12 с.

8. OutilDePoulissage: Патент Туніса № SN 08289 / Guitouni Ahmed, Mikhailov AlexanderNikolaivitch. 30 Juin 2008. – 8 p.

9. Outil De rectification pour la superfinition des dents des roués dentes: Патент Туніса № TN2009/0021 / Guitouni Ahmed, Hassen Kharoubi, Mikhailov Alexander Nikolaivitch. – 21 janvier 2009. – 8 p.

10. Increase of Firmness of Milling Cutters with Variable Cutting Velocities along the Length of Teeth Cutting Edges / Al-Sudani Tarafa, Mikhaylov Aleksandr, Dolhykh Hanna, Selivra Sergey, Sahbi Zantour // Applied Mechanics and Materials. – Switzerland, Trans Tech Publications, 2013. – Vol. 371. – P. 8–12. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.371.8.

УДК 378:621.372

А.Н. Полетайкин¹, Л.Ф. Данилова², А.В. Костенко³

¹ *Кубанский государственный университет,
Краснодар, 350040*

e-mail: alex.poletaykin@gmail.com;

² *Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Новосибирск, 630102*

e-mail: lubermolenko@yandex.ru;

³ *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003*

e-mail: andr13kost@list.ru

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В статье представлен вариант автоматизированного решения актуальной в сфере высшего образования задачи формирования компетентностной модели профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» с ориентацией на профессиональные стандарты в области нефтегазового дела и академические возможности вуза. Указанные ориентиры формализуются в виде частных критериев оптимизации. Оптимизация осуществляется при помощи аппарата генетических алгоритмов в несколько стадий на уровнях отдельных компетенций и компетентностной модели в целом. Машинная реализация предложенной методики позволит повысить качество подготовки специалистов водного транспорта, а также формировать нормативную документацию основной профессиональной образовательной программы.

Ключевые слова: специалист водного транспорта, профессиональная подготовка, компетентностная модель, многокритериальная оптимизация, генетические алгоритмы.

A.N. Poletaikin¹, L.F. Danilova², A.V. Kostenko³

¹ *Kuban State University,
Krasnodar, 350040*

e-mail: alex.poletaykin@gmail.com;

² *Siberian State University of Telecommunications and Information Science,
Novosibirsk, 630102*

e-mail: lubermolenko@yandex.ru;

³ *Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003*

e-mail: andr13kost@list.ru

METHODOLOGY OF AUTOMATED COMPETENCY MODEL CONSTRUCTION FOR WATER TRANSPORT SPECIALISTS DEVELOPMENT

The variant of the automated solution of the problem of formation of the competence model of the professional educational program in the field of training 15.03.02 "Technological machines and equipment" with a focus on professional standards in the field of oil and gas business and academic opportunities of the University is presented. These guidelines are formalized in the form of specific optimization criteria. Optimization is carried out using the apparatus of genetic algorithms in several stages at the levels of individual competencies and competence model as a whole. Machine implementation of the proposed method allows to improve the quality of training of water transport specialists as well as to form the regulatory documentation of the basic professional educational program.

Key words: water transport specialist, training, competency model, multicriterial optimization, genetic algorithms.

Повышение эффективности подготовки квалифицированных специалистов водного транспорта является важнейшей задачей вузов, решение которой зависит от многих факторов. В научной литературе выделена и широко отражена проблема формирования профессиональной направленности будущих специалистов водного транспорта, в частности ее роль в формировании личности

и профессиональной подготовке будущего специалиста, что свидетельствует об актуальности и важном статусе обозначенной задачи. Анализ источников, посвященных этим вопросам, представлен в [1], на основании которого можно сделать вывод, что учет специфики профессиональной подготовки специалистов водного транспорта характеризуется чрезвычайной сложностью и большим объемом общепрофессиональных и профессионально ориентированных знаний, продолжительностью становления специалиста и многоуровневым характером организации подготовки, и требует перестройки основных компонентов традиционной образовательной системы.

Особо здесь следует выделить фактор качества содержания образовательных программ и их целевую ориентацию на интересы работодателей и академические возможности вуза. С одной стороны, содержание образовательных программ должно соответствовать возможностям вуза и потребностям рынка труда, что уже само по себе нередко порождает противоречия. С другой стороны, вузы связаны требованиями федеральных законов, предписывающих разработку и поддержание в актуальном состоянии большого количества нормативной и методической документации в виде основной профессиональной образовательной программы (ОПОП). На пересечении этих двух направлений находится задача формирования компетентностной модели (КМ) ОПОП, такой, которая обеспечивала бы требования Минобрнауки России, учитывала возможности вуза и динамично изменяющиеся запросы современного рынка труда. Причем, поскольку речь идет о выполнении противоположных требований к КМ, а также учитывая сложность ее структурной организации, включающей десятки компетенций, каждая из которых включает десятки и сотни различных компонентов, в качестве методики ее построения целесообразно использовать многокритериальную оптимизацию.

В статье [2] авторами представлен инновационный подход к построению компетентностной модели профессиональной образовательной программы с применением информационных технологий. Идея заключается в конструировании профессиональных компетенций с оптимальной структурой и их кластеризации с учетом предпочтений работодателя на основе профессиональных стандартов. При этом компетенция рассматривается как связанная структура необходимых знаний, необходимых умений и трудовых действий, определяемых трудовыми функциями и параметризованных экспертными оценками. Определены 18 частных критериев оптимизации структуры компетенции (табл. 1).

Таблица 1

Критерии оптимизации внутренней структуры компетенции

| № п/п | Частный критерий | Коэффициент значимости | Экспертные оценки* | Оценивание | |
|-------|---------------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
| | | | | ЗУН | Связи |
| 1. | Профессиональная ориентация | – | – | Да | Да |
| 2. | Коэффициент профессиональной направленности | 0,008 | – | Да | Да |
| 3. | Коэффициент типизации | 0,020 | ОБ | Да | Да |
| 4. | Трудоемкость | 0,011 | ЧБ, И | Да | Нет |
| 5. | Мощность | 0,049 | И | Да | Нет |
| 6. | Коэффициент связности | 0,033 | И | Оценивание на системном уровне | |
| 7. | Коэффициент достижимости | 0,032 | И | | |
| 8. | Ширина | 0,014 | И | | |
| 9. | Глубина | 0,015 | – | | |
| 10. | Ядерность | 0,042 | – | Да | Да |
| 11. | Гармоничность | 0,122 | – | Да | Нет |
| 12. | Значимость | 0,051 | – | Да | Да |
| 13. | Коэффициент полезности | 0,130 | ЧБ | Да | Нет |
| 14. | Коэффициент близости | 0,051 | ЧБ | Нет | Да |
| 15. | Коэффициент внутренней системности | 0,031 | ЧБ | Нет | Да |
| 16. | Коэффициент внешней системности | 0,051 | ЧБ | Да | Да |
| 17. | Междисциплинарность | 0,204 | – | Да | Да |
| 18. | Проверяемость | 0,137 | – | Да | Нет |

* ОБ – общие 10-балльные оценки, ЧБ – частные 10-балльные оценки, И – границы интервалов «идеальных» либо «хороших» значений, на основании которого осуществляется нормирование значения критерия к единичному отрезку.

Из табл. 1 видно, что для определения 10 из 18 критериев используются экспертные оценки. Подробное рассмотрение этих оценок наряду с методикой их определения представлено в [3]. На основе выявленных частных критериев строится целевая функция – интегральный критерий оптимизационной модели:

$$F_i(x) = \sum_{j=1}^n k_j x_{ij}, \quad \sum_{j=1}^n k_j = 1, \quad F_i(x) \rightarrow 1. \quad (1)$$

В формуле (1) $F_i(x)$ – значение интегрального критерия для i -й компетенции вычисляется как суперпозиция n фактических значений x_{ij} критериев с учетом весовых коэффициентов их значимости k_j , определенных методом анализа иерархий с привлечением экспертов.

Оптимизация осуществляется при помощи классического генетического алгоритма (ГА) в два этапа, первый из которых имеет целью сконструировать субоптимальные структуры отдельных компетенций и предполагает 3 стадии оптимизации:

1. Формирование состава компетенции. Из имеющегося в наличии множества ЗУН собрать оптимальный элементный состав. Оптимизация ведется по критериям 1–5, 11–13, 16–18 при ограничениях по допустимой мощности и логическому критерию 1. В результате имеем заданное число наилучших решений в виде двоичных векторов.

2. Формирование структуры связей на сформированных составах ЗУН. Установить между ЗУН оптимальную структуру связей. Оптимизация ведется по критериям 1–3, 10, 12, 14–17 при ограничениях по допустимой ширине и глубине. В результате для каждого вектора имеем заданное число наилучших решений в виде двоичных матриц смежности.

3. Системная оптимизация состоит в оценивании решений по критериям 6–9. При этом для каждого решения вычисляется интегральная фитнес-функция (целевая функция оптимизационной модели в терминологии ГА) как суперпозиция фитнес-функций (2), вычисляемых на каждой из трех стадий по формуле (1):

$$F = F_1 + F_2 + F_3, \quad F \rightarrow \max. \quad (2)$$

Второй этап предполагает построение субоптимальных структур КМ из компетенций, полученных в результате реализации первого этапа. В основу ОПОП ложится связанная структура компетенций (КМ ОПОП), частным случаем которой является кластер компетенций. Для оценивания качества структуры КМ также разработан набор критериев (табл. 2) числового типа, которые приводятся к единичному отрезку аналогично критериям качества компетенций и сворачиваются в интегральное значение с учетом рассчитанных коэффициентов значимости согласно выражению (1). Поскольку состав КМ однозначно определен заданным набором сконструированных компетенций, значение имеют только критерии на основе характеристик внешних связей компетенций (критерии 2–5 в табл. 2). В силу того, что связь между компетенциями, согласно логике модели, представлена одним ЗУН, который копируется из исходящей компетенции во входящую, целесообразно включить в набор критерии на основе характеристик ЗУН (критерии 6–10 в табл. 2). Наиболее значимый критерий 1 выражает степень изменения качества компетенции в результате ее связывания с другими компетенциями КМ. Так как при этом в компетенцию попадают ЗУН из других компетенций и с ними устанавливаются внутренние связи, возможно не лучшего качества, интегральное качество компетенции при этом, как правило, снижается.

Таблица 2

Критерии оптимизации структуры кластера компетентностной модели

| № п/п | Частный критерий | Коэффициент значимости | Экспертные оценки* |
|-------|---------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| 1. | Коэффициент модификации | 0,185 | – |
| 2. | Коэффициент связности | 0,073 | И |
| 3. | Коэффициент достижимости | 0,075 | И |
| 4. | Коэффициент междисциплинарности | 0,108 | – |
| 5. | Сила связей | 0,119 | И |
| 6. | Коэффициент профессиональной направленности | 0,065 | – |
| 7. | Коэффициент типизации | 0,074 | ОБ |
| 8. | Значимость | 0,112 | – |
| 9. | Коэффициент полезности | 0,090 | ЧБ |
| 10. | Коэффициент внешней системности | 0,099 | ЧБ |

* Буквенные обозначения имеют те же значения, что и в табл. 1

В результате реализации такого оптимизационного алгоритма в предельном случае охвата всей образовательной программы образуется совершенная структура КМ, построенная в соответствии с принципом минимальной достаточности.

Рассмотрим пример построения КМ, включающей четыре компетенции направления подготовки 15.03.02: ПК-10, ПК-12, ПК-13, ПК-15. Согласно действующему рабочему учебному плану данные компетенции формируются пятью дисциплинами, некоторые характеристики которых показаны в табл. 3, в которой также представлено распределение компетенций, закрепленное рабочим учебным планом (цифрами указаны этапы формирования компетенций).

Таблица 3

Характеристики размерности задачи конструирования компетентностной модели, часть I – учебные дисциплины

| Название учебной дисциплины | Объем, ч./з.е. | Количество | | Закрепление компетенций | | | |
|----------------------------------------------------------------|----------------|------------|------------|-------------------------|----------|----------|----------|
| | | ЗУН | КС | ПК-10 | ПК-12 | ПК-13 | ПК-15 |
| Материаловедение | 144/4 | 8 | 34 | 1 | | | 1 |
| Основы технологии машиностроения | 324/9 | 4 | 28 | 3 | | | |
| Правила технической эксплуатации технологического оборудования | 144/4 | 12 | 21 | | 2 | 1 | 4 |
| Технология конструкционных материалов | 108/3 | 11 | 36 | 2 | | | 2 |
| Физико-механические свойства сырья и готовой продукции | 108/3 | 9 | 17 | 4 | 1 | | 3 |
| <i>Итого:</i> | <i>828/23</i> | <i>44</i> | <i>136</i> | <i>4</i> | <i>2</i> | <i>1</i> | <i>4</i> |

Кроме того, из 55 профессиональных стандартов в области нефтегазового дела, соответствующей профилю подготовки специалистов направления 15.03.02 в КамчатГТУ, экспертной группой были отобраны три (см., например, стандарт 19.003 на официальном сайте Минтруда и соцзащиты [4]), из состава которых были выделены 13 трудовых функций (ТФ). Характеристики ТФ и их экспертное распределение по компетенциям представлены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики размерности задачи конструирования компетентностной модели, часть II – трудовые функции

| Шифр | Трудовые функции Наименование | Состав компонентов | | | Закрепление компетенций | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|
| | | Знания | Умения | Действия | ПК-10 | ПК-12 | ПК-13 | ПК-15 |
| 19.003 – Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования | | | | | | | | |
| A/01.5 | Подготовка оборудования к ремонту, вывод оборудования из ремонта, пуск в эксплуатацию | 5 | 6 | 7 | | + | | |
| A/02.5 | Проведение работ по техническому обслуживанию и ремонту технологического оборудования | 5 | 8 | 7 | | | + | + |
| A/03.5 | Проведение проверки технического состояния технологического оборудования и технических устройств | 4 | 6 | 7 | | | + | |
| A/04.5 | Внедрение новой техники и передовой технологии | 5 | 4 | 4 | | + | | |
| B/01.6 | Разработка сетевых графиков ремонтных работ, установление взаимосвязанных работ, определение необходимых ресурсов (трудоемкости), проведение ремонтных работ | 7 | 5 | 6 | | | + | + |
| B/05.6 | Разработка и планирование внедрения новой техники и передовой технологии | 9 | 3 | 4 | | + | | |
| B/06.6 | Организация работы и проведение проверки технического состояния, экспертизы промышленной безопасности и оценки эксплуатационной надежности технологического оборудования | 5 | 5 | 5 | | | + | |
| 19.013 – Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования | | | | | | | | |
| B/01.6 | Обеспечение выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР), диагностическому обследованию (ДО) газотранспортного оборудования | 19 | 11 | 9 | | | + | + |
| B/02.6 | Ведение документации по сопровождению ТОиР, ДО газотранспортного оборудования | 4 | 5 | 5 | | | + | |
| C/01.6 | Поддержание работы газотранспортного оборудования в заданном технологическом режиме | 12 | 12 | 11 | + | | | |
| 19.015 – Специалист по эксплуатации оборудования подземных хранилищ газа | | | | | | | | |
| A/01.6 | Обеспечение заданного режима работы оборудования подземных хранилищ газа | 7 | 6 | 6 | + | | | |
| A/02.6 | Обеспечение выполнения работ по ТОиР, ДО оборудования подземных хранилищ газа | 19 | 12 | 12 | | | + | + |
| B/01.6 | Контроль выполнения производственных показателей подразделениями подземного хранения газа | 8 | 6 | 5 | + | | | |
| <i>Итого:</i> | | <i>109</i> | <i>89</i> | <i>88</i> | <i>3</i> | <i>3</i> | <i>7</i> | <i>4</i> |

Как видно из табл. 3 и 4, для построения кластера из четырех компетенций имеем поле поиска, включающее в себя в совокупности 330 ЗУН, в т. ч. 283 уникальных, по каждому из которых были получены 3 частные экспертные оценки (см. критерии 4, 13 и 16 в табл. 1). Ввиду чрезвычайно большого числа (79 806) связей между этими ЗУН оценивание критериев 14–16 для связей не производилось, так как на эту процедуру при вдумчивом оценивании требуется около 600 часов непрерывной работы. При этом соответствующие критерии принимаются равными нулю для всех получаемых решений.

Время выполнения оптимизационных алгоритмов конструирования четырех компетенций и кластера КМ на машине с процессором Intel Core i5-7500 3,40 GHz, RAM 8,00 GB под управлением операционной системы Windows 7 составило 51 мин, в т. ч. 6,5 мин осуществлялось построение самой КМ. Схема сконструированного кластера КМ изображена на рис. 1. Мощность метасвязей выражает число внешних связей между компетенциями и на рисунке представлена толщиной линий.



Рис. 1. Структурная схема и характеристики построенного кластера КМ

Структура одной из компетенций кластера КМ показана на рис. 2. Обозначения на этом рисунке: З – ЗУН типа «Знание», У – ЗУН типа «Умение», Н – ЗУН типа «Навык». Подчеркнутые шифры З-3, У-3, У-4, У-5 обозначают так называемые «базовые» ЗУН, привнесенные в структуру ПК-13 из ПК-10 в результате установления связи от ПК-10 к ПК-13.

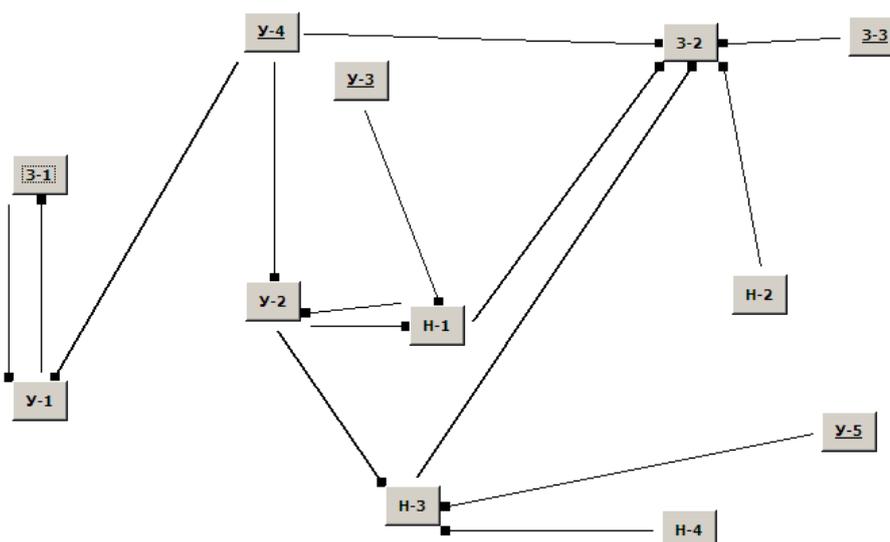


Рис. 2. Структурная схема компетенции ПК-13

Имея такую многоуровневую систему ЗУН, как элементарных результатов освоения образовательной программы, можно в дальнейшем осуществлять эффективные процедуры системного оценивания сформированности компетенций и освоения учебных дисциплин и образовательной программы в целом, а также определять тематические блоки, требующие дополнительной проработки. Авторская информационная технология, реализующая такие процедуры в интерактивном режиме, автоматизирует все расчеты на основе энтропийного подхода [5] и позволяет получать соответствующие отчеты о результатах испытаний.

Литература

1. *Скляренко И.Ю.* Профессиональная направленность будущих специалистов водного транспорта как фактор их становления // Педагогика, педагогическая психология и образование: современные тенденции и эволюционный опыт развития: Сборник материалов ежегодной международной научной конференции, 27–28 февраля 2013 г., Беларусь, г. Минск / Под ред. В.В. Находкина. – 2013. – С. 80–85.
2. *Полетайкин А.Н., Данилова Л.Ф.* Информационная технология конструирования компетентностной модели // Экономика и управление: теория и практика. – 2018. – Т. 4, № 3. – С. 97–107.
3. *Полетайкин А.Н., Данилова Л.Ф.* Информационная технология экспертного оценивания параметров оптимизации структурного состава компетенций // Вестник СибГУТИ. – 2017. – № 4. – С. 84–96.
4. Специалист по обслуживанию и ремонту нефтезаводского оборудования: Профессиональный стандарт 19.003 // Профессиональные стандарты. Программно-аппаратный комплекс // Официальный сайт Минтруда и соцзащиты РФ. – URL: http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=47636 (дата обращения: 30.08.2018).
5. *Ильина Т.С., Полетайкин А.Н.* Энтропийный подход к оцениванию сформированности образовательных компетенций // Труды XXIX Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях». – 2016. – Т. 8. – С. 137–141.

УДК 004.8:378.4

М.Д. Солодовник, М.Н. Кузнецова, Д.А. Кудренко

Луганский национальный университет им. Владимира Даля

Луганск, 91034

e-mail: tm.univer@yandex.ru

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ В НАЧАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ

Наука о взаимодействии человека с искусственной окружающей средой имеет различные названия: инженерная психология, учет человеческих факторов в технике, биомеханика, эргономика и т. д. Статья освещает первоначальные этапы создания реальных манипуляторов, выполняющих производственные операции в одной плоскости (механизмы с двумя степенями свободы).

Ключевые слова: манипуляторы, робототехника, аналитическая модель, возможности манипулятора, энергетические параметры, искусственный интеллект.

M. D. Solodovnik, M.N. Kuznetsova, D.A. Kudrenko

Lugansk National University named after Vladimir Dalh,

Lugansk, 91034

e-mail: tm.univer@yandex.ru

ABOUT ONE APPROACH TO THE INITIAL SPECIALISTS TRAINING IN THE FIELD OF ROBOTICS

The science of human interaction with the artificial environment has different names: engineering psychology, human factors in technology, biomechanics, ergonomics, etc. The initial stages of creating real manipulators that perform production operations in one plane (mechanisms with two degrees of freedom) are presented in the article.

Key words: manipulators, robotics, analytical model, capabilities of the manipulator, energy parameters, artificial intelligence.

Внедрение манипуляторов, роботов и их комплексов в машиностроении приняло всеобщий характер благодаря своей эффективности в обеспечении жизнедеятельности персонала, особенно при выполнении таких операций, как работы в агрессивных средах и т. п. Учебными планами соответствующих специальностей предусматривается не только знакомство с устройствами, но и умение составлять математические модели при определении кинематических и динамических характеристик.

Целью работы является ознакомление с автоматизацией производства с применением простейших роботов и манипуляторов. С использованием накопленного опыта ставится задача конструктивной модернизации существующих устройств и аналитического обновления кинематических и энергетических параметров манипуляторов, осуществляющих рабочие процессы на плоских поверхностях.

Начиная со второго курса, когда студенты освоили основные разделы высшей математики, теоретической механики и аналитической динамики [1, 2], учебными планами соответствующих специальностей предусматривается знакомство с простейшими манипуляторами и их кинематическими характеристиками.

В качестве примера в статье рассматривается манипулятор (рис. 1), в котором:

- жесткий угольник AB массой m_2 может поступательно перемещаться вдоль оси Y (s – переменная величина, зависящая от времени t);
- шарнирно соединенный с ним стержень AD , массой m_1 и моментом инерции J_1 относительно центра масс (x_1, y_1) совершает плоское движение, угол поворота $\varphi(t)$ которого ограничен выступами K и L ;
- захват D должен двигаться по заданной программой траектории (в производственных условиях осуществлять установку деталей, производить контактную сварку, производить покраску в агрессивной среде и т. п.).

Одним из методов решения задачи для рассматриваемого манипулятора с двумя степенями свободы [1] является применение системы уравнений Лагранжа 2-го рода, которую представим в виде:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{S}} \right) - \frac{\partial T}{\partial S} = P(t) \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = M(t) \end{cases} \quad (1)$$

Из рис. 1 следует, что:

$$\begin{cases} x_1 = l(1 + \sin \varphi) \\ y_1 = S - l \cos \varphi \end{cases} \quad (2)$$

Тогда $V_1^2 = \dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2$ – квадрат скорости центра масс звена AD , а

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = l \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \\ \dot{y}_1 = \dot{S} + l \sin \varphi \cdot \dot{\varphi} \end{cases} \quad (3)$$

соответственно

$$V_1^2 = \dot{S}^2 + l^2 \dot{\varphi}^2 + 2l\dot{S}\dot{\varphi} \sin \varphi \quad (4)$$

Пусть T – кинетическая энергия системы, $S, \dot{S}, \varphi, \dot{\varphi}$ – обобщенные координаты и обобщенные скорости. Тогда выражение для кинетической энергии примет вид

$$T = \frac{1}{2} m_2 \dot{S}^2 + \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} j_1 \dot{\varphi}^2 \quad (5)$$

Подставляя (5) в (1) и производя преобразования, приходим к системе дифференциальных уравнений второго порядка, правые части которых и дадут выражения для определения энергетических характеристик манипулятора $P(t)$ и $M(t)$:

$$\begin{cases} P(t) = (m_1 + m_2) \ddot{S} + m_1 l (\ddot{\varphi}^2 \cos \varphi + \dot{\varphi}^2 \sin \varphi) \\ M(t) = m_1 l (l \ddot{\varphi} + \ddot{S} \sin \varphi + \dot{S} \dot{\varphi} \cos \varphi) + j_1 \ddot{\varphi} \end{cases} \quad (6)$$

Для выполнения программы захватом D необходимо наложить на его движение соответствующие ограничения. Например, если захват описывает эллипс (рис. 2) с центром на оси X в точке x_0 и полуосями 1, 3, уравнение связи имеет вид:

$$\frac{(x_D - x_0)^2}{1} + \frac{y_D^2}{3^2} = 1, \quad (7)$$

где x_D и y_D определяются по формулам аналогичным (2), т. е.:

$$\begin{cases} x_D = l(1 + 2 \sin \varphi) \\ y_D = S - 2l \cos \varphi \end{cases} \quad (8)$$

Подставляя эти выражения в (7), получим связь между S и φ :

$$S = 2l \cos \varphi + 3\sqrt{1 - [l(1 + 2 \sin \varphi) - x_0]^2} \quad (9)$$

Дальнейшая процедура определения $P(t)$ и $M(t)$ совпадает с подходом в примерах, предусмотренных учебной программой для 3-го семестра [1, 2].

Вывод. Предложенный пример позволяет студентам первого, а затем и на старших курсах проводить более сложные исследования уже для роботов с большим числом степеней свободы [3, 4] по линии НИРС. Более того, совершенствование программного обеспечения для механиче-

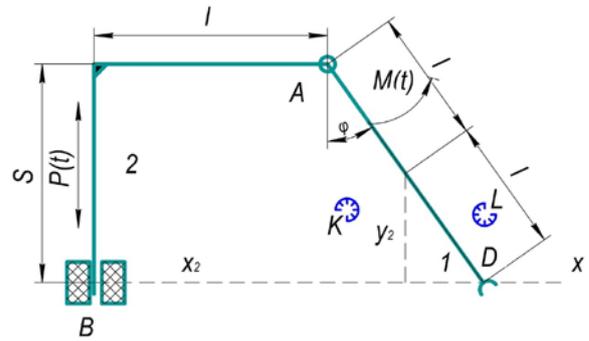


Рис. 1. Схема манипулятора

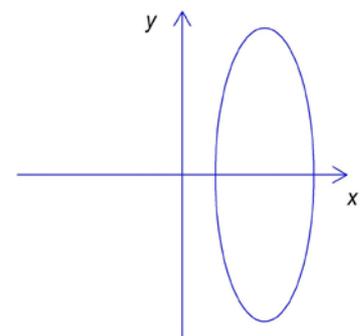


Рис. 2. Одна из возможных плоских кривых

ских роботов дает предпосылки ускоренному развитию молекулярной электроники как базиса при создании робототехнических комплексов с элементами искусственного интеллекта [5, 6].

Литература

1. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике / *А.А. Яблонский и др.* – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1985. – 367 с.
2. *Уиттекер Е.Т.* Аналитическая динамика. – М.: ОНТИ, 1957. – 387 с.
3. *Ермилов Ю.* Управление сближением космических аппаратов. – М.: Наука, 1997.
4. *Апальков А.* Концепция интеллектуального робота для оценки напряжений в трубопроводах // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3 – С. 285–292.
5. *Ульшин В.А.* К десятилетию кафедры системной инженерии // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2009. – № 1(131). – С. 193–209.
6. *Агринская Н.* Молекулярная электроника. – СПбГПУ, 2004. – 110 с.

Ответственный за выпуск
О.А. Белов

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы международной научно-технической конференции
(17–19 октября 2018 г.)*

Часть 2

В авторской редакции
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Подписано в печать 24.01.2019 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 14,82. Уч.-изд. л. 15,21. Усл. печ. л. 18,36
Тираж 100 экз. Заказ № 2

Издательство
Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком издательства КамчатГТУ
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35