ДОНЕЦЬКА АКАДЕМІЯ автомобільного транспорту

Вісник Донецької академії автомобільного транспорту

№ 2
2015

Науковий журнал

Засновник:
Донецька академія автомобільного транспорту

Видавець:
ПП «Рекламно-виробнича фірма «Молнія»
Адреса: вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
тел.: (062) 388-21-67

За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей

До журналу увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів Донецької академії автомобільного транспорту та інших навчальних закладів

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу

Видання виходить 4 рази на рік
Видається з січня 2004 року

Адреса редакції:
пр. Дзержинського, 7
м. Донецьк, 83086,
Тел. (062) 345-21-90
E-mail: nauka@diat.edu.ua
URL: journal.diat.edu.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту.
Протокол № 9 від 24.06.2015 р.

Редакційна колегія:

Головний редактор
Енглезі І.П., *ректор Академії, к.т.н., доцент*

Заступник головного редактора
Макаров В.А., *д.т.н., доцент*

Члени редколегії:
Балабін І.В., *д.т.н., професор (Російська Федерація)*
Бєлов Ю.В., *к.т.н., доцент*
Бєлоусов В.В., *д.т.н., професор*
Бруннер Х., *д.т.н., професор (Німеччина)*
Вербицький В.Г., *д.ф.-м.н., професор*
Вовк Л.П., *д.т.н., професор*
Горожанкін С.А., *д.т.н., професор*
Доля В.К., *д.т.н., професор*
Загороднов М.І., *к.т.н., доцент*
Заренбін В.Г., *д.т.н., професор*
Кравченко О.П., *д.т.н., професор*
Макогон Б.П., *к.ф.-м.н., доцент*
Міротін Л.Б., *д.т.н., професор (Російська Федерація)*
Міщенко М.І., *д.т.н., професор*
Поліщук В.П., *д.т.н., професор*
Самородов В.Б., *д.т.н., професор*
Сахно В.П., *д.т.н., професор*
Сладковський О., *д.т.н., професор (Польща)*
Сунцов М.В., *д.х.н., професор*
Ткаченко В.П., *д.т.н., професор*
Федоров Є.Є., *д.т.н., доцент*
Хаханов В.І., *д.т.н., професор*

Відповідальний секретар
Гончарук В.Л.

Коректор
Виставкіна Т.Е.

Технічний редактор
Руденко О.В.

ВІСНИК ДОНЕЦЬКОЇ АКАДЕМІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Засновник:

Донецька академія автомобільного транспорту

Видавець:
ПП «Рекламно-виробнича фірма «Молнія»
Адреса:
вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
Тел.: (062) 388-21-67
За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей.

У журнал увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів
Донецької академії автомобільного транспорту та інших навчальних закладів

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу

Видання виходить 4 рази на рік
Видається з січня 2004 року

Адреса редакції:
пр. Дзержинського, 7
м. Донецьк, 83086
Тел: (062) 345-21-90
E-mail: nauka@diat.edu.ua
URL: journal.diat.edu.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту
Протокол № 9 від 24.06.2015 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 15 936-4408 ПР від 02.12.2009 р., видане Міністерством юстиції України.

«Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» включений до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (постанова президії ВАК України від 10 лютого 2010 р. № 1-05/1).

Електронна версія видання надається у вільний доступ на власному сайті журналу «Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» та на сайті Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського.

Видання розміщено на платформі Наукової електронної бібліотеки Російської Федерації і обробляється наукометричною базою «Российский индекс научного цитирования».

Видання розміщено і обробляється наукометричною базою «Академія Google».

Видання відображається у реферативній базі даних «Україніка наукова».

ISSN 2219-8180

Підписано до друку 24.06.2015 р. Формат 60 х 84/8. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 4,5. Наклад 100 прим.

Віддруковано у друкарні ПП «Рекламно-видавнича фірма «Молнія»
Адреса:
вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
Тел.: (062) 388-21-67

© Вісник Донецької академії автомобільного транспорту, 2015

Зміст

Транспортні технології

Белов Ю.В., Полетайкин А.Н. **Совершенствование системы управления транспортом на основе концепции интеллектуальной транспортной системы** 4

Грабельников В.А., Яблуновская И.А. **Усовершенствование государственного регулирования работы городского пассажирского транспорта** 10

Транспорт і двигуни внутрішнього згоряння

Адров Д.С. **Тепловой аккумулятор как средство повышения эффективности пуска стационарного двигателя в условиях низких температур** 16

Гущин А.М., Прилепский Ю.В., Останькович А.Д. **Газовые смеси и смесеобразование** 23

Єфименко А.М. **До апроксимації сили та моменту відведення пружного колеса** 39

Проектування, будівництво та експлуатація автомобільних доріг

Гущин О.В. **Анализ течения сыпучих материалов на участке загрузки в пневмотранспортный трубопровод агрегата по изготовлению смесей для автомобильных дорог** 44

Губа К.Р., Шилин И.В., Грицук Ю.В. **Анализ ситуации сбора и обработки данных технического состояния сети автомобильных дорог** 53

Рыбалко Р.И. **Исследования аэродинамической классификации сыпучих материалов в двухстадийном сепараторе применительно к машинам для строительства автомобильных дорог** 60

Автори номера 68

Правила подання та оформлення статей 69

Порядок рецензування статей 71

УДК 629.113 (071)

БЕЛОВ Ю.В., к.т.н., доцент,
Донецкая академия автомобильного транспорта;
ПОЛЕТАЙКИН А.Н., к.т.н., доцент,
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г.Новосибирск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрена структура и назначение основных составных частей Автоматизированной системы управления транспортом (АСУТ), построенной на основе концептуальной модели Интеллектуальной транспортной системы (ИТС).
Ключевые слова: *транспортная система, структура, подсистемы, перечень функций*

Постановка проблемы

Современное состояние транспортных систем в крупных городах стран СНГ характеризуется следующими основными проблемами: автомобильные заторы на перекрестках, неритмичность работы общественного транспорта, загазованность главных магистралей города, рост количества травмированных водителей и пешеходов вследствие ДТП.

Очевидно, что такая ситуация на дорогах вызвана многими причинами (высокий уровень автомобилизации, низкие качественные характеристики улично-дорожной сети, менталитет водителей, низкие штрафы за нарушения Правил дорожного движения и т.д.). Очень многое зависит и от качества организации информационных потоков транспортной системы.

Решение транспортных проблем требует системного подхода. При построении современных систем управления транспортом в крупных городах мира используется **концептуальная модель ITS** (Intelligent Traffic Systems или ИТС – Интеллектуальная транспортная система).

Основные принципы этой модели:

– формирование четкой политики развития дорожного движения в городе;

– применение системного подхода для задач любого масштаба;

– создание единых центров концентрации информационных потоков города;

– интегрирование нескольких подсистем (управление дорожным движением, видеонаблюдение, мониторинг состояния дорожного покрытия, мониторинг общественного и коммунального транспорта, экологический мониторинг и прочее) в единую сеть;

– моделирование возможных последствий.

Анализ полученных результатов

Создание транспортных систем на принципах ИТС способствует решению насущных проблем транспортной системы, основные из которых:

– обеспечение безопасности движения;

– экономия топлива;

– экологическая безопасность (уменьшение количества загрязняющих выбросов);

– оптимизация скоростных режимов движения транспорта;

– оперативное реагирование на аварийные и чрезвычайные ситуации;

– уменьшение задержек транспортных средств (организация координированного движения) и прочее.

Для реализации задач управления транспортом создаются центры внедрения ИТС, как правило, на базе Департаментов или отделов транспорта городских администраций. Это малочисленные группы (несколько специалистов), которые формируют стратегию и тактику организации дорожного движения в городе и выбирают (на основе тендеров) исполнителей работ по внедрению и обслуживанию объектов транспортной инфраструктуры.

Исходя из вышеизложенного и на основе анализа состояния транспортной системы г. Донецка, разработана концепция **Проекта создания Автоматизированной системы управления транспортом (АСУТ) г. Донецка,** целью которого является увеличение пропускной способности существующей дорожно-транспортной сети, улучшение качества городских пассажирских перевозок, предоставление информации о транспортной ситуации на отдельных магистралях города и обеспечение безопасности участников дорожного движения в условиях возрастающего уровня автомобилизации.

В состав АСУТ может входить несколько отдельных систем (рис.1):

• автоматизированная система управления дорожным движением;

• система (или подсистема в составе Автоматизированной системы управления дорожным движением) видеонаблюдения за движением транспорта на отдельных участках дорожно-транспортной сети;

• система экологического мониторинга на автомагистралях, мониторинга погодных условий и состояния проезжей части и информирования водителей о дорожно-транспортной обстановке;

• автоматизированная система диспетчерского управления городским пассажирским транспортом и информирования пассажиров;

• система управления паркингами;

• система контроля технического состояния подвижного состава.



Рис 1. Структура Автоматизированной системы управления транспортом на основе концептуальной модели ИТС

Каждая система может функционировать автономно и независимо, используя при необходимости информацию от других систем с помощью информационных каналов системы обмена данными.

Целью создания **Автоматизированной системы управления дорожным движением** (АСУДД) является увеличение пропускной способности дорожно-транспортной сети г. Донецка, повышение безопасности участников дорожного движения, улучшение экологической обстановки на основных магистралях города.

Основная функциональность АСУДД – регулирование дорожного движения на улицах города, а именно:

• координированное регулирование дорожного движения на магистралях города по фиксированным планам координации с возможностью перехода в дальнейшем на адаптивное управление;

• диспетчерское управление дорожным движением на перекрестках из центра управления дорожным движением;

• управление движением транспортных средств в режиме "Зеленая улица" (организация спецпроездов и движения автомобилей экстренных служб);

• протоколирование в реальном масштабе времени всех действий операторов, режимов работы дорожных контроллеров и состояния аппаратуры АСУДД.

Использование при создании АСУДД современной концепции развития систем управления транспортом позволяет расширить ее функциональность за счет включения дополнительных подсистем:

• подсистемы сбора информации о характеристиках транспортных потоков;

• подсистемы сбора информации об условиях движения на городских магистралях;

• подсистемы управления информационными табло и управляемыми знаками;

• подсистемы статистического анализа и аналитического моделирования транспортных потоков на автомагистралях;

• подсистемы приоритетного проезда общественного транспорта и специальных категорий транспортных средств, таких как службы спасения и скорой помощи.

В рамках единой АСУТ обеспечивается информационная связь АСУДД со смежными системами, работа которых явным образом или косвенно влияет на состояние транспортных потоков или которые используют каналы связи АСУДД для передачи по ним собственной информации: системой диспетчерского управления пассажирским автотранспортом, информационно-справочной системой парковки, системой экологического мониторинга на автомагистралях, системой информирования водителей о дорожно-транспортной обстановке.

После анализа существующей системы управления дорожным движением г. Донецка могут быть выработаны рекомендации относительно изменения организационной структуры управления дорожным движением, основных функциональных взаимосвязей, перечня функций и обязанностей для каждого подраздела этой организационной структуры.

Целью создания **Системы экологического мониторинга** (СЭМ) на автомагистралях является оперативное выявление источников загрязнения окружающей среды на главных магистралях города, анализ причин и принятие эффективных решений по улучшению ситуации.

Экологическая информация может быть получена от стационарных постов контроля, которые оснащены датчиками основных загрязняющих веществ (CO, NO_2, SO_2). Количество и размещение постов экологического контроля может быть определено, исходя из топологии основных транспортных магистралей города и интенсивности дорожного движения на отдельных участках дорожно-транспортной сети. Центральный пункт СЭМ предназначен для периодического сбора экологической информации и ее сохранения в базе данных с целью дальнейшей обработки полученных результатов.

После обработки накопленной информации в центре могут быть получены графические (на карте города), гистограммные и табличные отчеты относительно состава воздуха на магистралях города, выявлены наиболее загрязненные участки, что позволит разработать комплекс мероприятий по улучшению экологической обстановки. Это может быть решение о запрете въезда определенных видов транспорта, ограничение движения в определенные часы суток или изменения в организации дорожного движения в заданном районе.

Целью создания **Системы мониторинга погодных условий и состояния проезжей части** улиц и дорог (СМПСПЧ) является получение оперативной информации относительно погодных условий движения на дорогах города и использование этой информации участниками движения и дорожными службами.

Использование компактных дорожных метеостанций позволяет проводить мониторинг текущей метеорологической ситуации и прогнозировать ее развитие для принятия соответствующих мероприятий дорожными службами, а главное, наблюдать состояние дорожного полотна в зимний период для предупреждения водителей о наличии гололедицы и для осуществления превентивных мер по недопущению ее формирования.

Мониторинг погодных условий и состояния дорожного покрытия осуществляется с помощью специальных датчиков, которые определяют:

• температуру покрытия дороги;

• состояние поверхности дороги (сухая, влажная, мокрая, снег/изморозь, лед, гололедица);

• толщину слоя воды, льда или снега;

• коэффициент сцепления;

• температуру и влажность воздуха, точку росы и т.п.

Кроме того, входные данные могут также быть получены от метеорологических служб и других источников, таких как водители, службы обслуживания дорог, спасательные службы.

Информирование водителей об условиях движения с целью обеспечения безопасности движения на улицах города осуществляется на основе данных от специальных датчиков, устанавливаемых на проезжей части и в непосредственной близости от нее.

Система управления информационными табло (или динамическими знаками) **и управляющими знаками** (СУИТУЗ) может проектироваться как самостоятельная система либо как подсистема АСУДД. Ее цель – организация оперативного управления транспортными потоками при изменении уровней загрузки основных магистралей.

Целью создания и внедрения **Автоматизированной системы диспетчерского управления транспортом** (АСДУТ) является повышение качества работы городского пассажирского транспорта (ГПТ) в условиях возрастающего уровня автомобилизации.

Функциональные возможности АСДУТ:

• Автоматизированное оперативное управление городским транспортным комплексом, в том числе:

– автоматизированный контроль за движением транспортных средств на маршрутах в реальном времени;

– оперативное управление движением с помощью голосовой связи;

– автоматизированный контроль выпуска подвижного состава на линию, формирование в автоматическом режиме сообщений о всех нарушениях плана перевозок;

– формирование и предоставление оперативных справок о работе отдельных транспортных средств;

– формирование и предоставление оперативной информации о работе подвижного состава на линии диспетчеру.

• Технологическое обеспечение пассажирских перевозок, включая автоматизированное формирование и ведение баз паспортов маршрутов и маршрутных расписаний, подготовку и вы-

пуск расписаний движения, нанесение и корректирование маршрутной сети с применением электронной карты города.

• Связь диспетчеров и водителей транспортных средств в процессе движения на маршрутах.

• Создание архивов данных о выполненной транспортной работе.

• Обеспечение удаленного доступа к аналитическим данным о транспортной работе с использованием разных прав доступа.

• Информирование пассажиров на остановках общественного транспорта с помощью специальных информационных табло или через интернет о фактическом расписании движения транспортных средств, возникновении чрезвычайных ситуаций и предоставление другой необходимой информации.

• Возможность внедрения безналичной карточной оплаты за проезд пассажиров.

Целью создания **Системы управления паркингами** (СУП) является оптимизация использования подземных и наземных паркингов путем:

• автоматизированного сбора информации о размещении паркингов в городе и режимов их работы;

• автоматизированного сбора информации о наличии свободных мест в паркингах;

• информирования участников дорожного движения об уровне занятости или количестве свободных мест в ближайших паркингах с помощью информационных табло или через интернет.

При дальнейшем развитии СУП может быть предусмотрено внедрение автоматизированной системы безналичной карточной оплаты за пользование паркингами в масштабах города.

Система контроля технического состояния (СКТС) проектируется для оценки работоспособности транспортных средств, прежде всего работающих на маршрутах ГПТ. Возможно включение в эту систему и подсистемы оценки состояния водителя. Основная задача СКТС – использование владельцами транспортных средств оперативной информации об их состоянии для планирования технического обслуживания и ремонта. Это позволит снизить аварийность и повысить безопасность дорожного движения.

Реализация данного Проекта АСУТ начата в г. Донецке с реконструкции АСУДД города. Научно-исследовательским и проектным институтом транспортных технологий Донецкой академии автомобильного транспорта проведено обследование и инвентаризация технических средств регулирования дорожного движения г. Донецка и разработана концепция поэтапного развития АСУДД с учетом характеристик оборудования 177 светофорных объектов (СО) города [1]. Разработан проект центра управления дорожным движением, учитывающий возможность подключения всех светофорных объектов по различным каналам связи (телефонная линия, радиосвязь, оптиковолокно, WAN и др.) для управления их работой [2]. Для реализации концепции предложено произвести полную реконструкцию 110 и частичную реконструкцию 30 СО г. Донецка, установить 105 детекторов транспорта и 42 камеры видеонаблюдения на улично-дорожной сети города.

Перспективным является использование «облачных» технологий для реализации АСУТ в целом или отдельных ее составных частей [3, 4]. Эти технологии позволяют оказывать сервисные услуги с использованием информации АСУДД и СКТС для широкого круга владельцев индивидуальных транспортных средств.

Выводы

Создание вышеописанной системы АСУТ будет способствовать совершенствованию организации работы автотранспорта в г. Донецке и позволит:

• повысить среднюю скорость движения на дорогах города на 10-15%;

• снизить аварийность на дорогах;

• улучшить информированность водителей о ситуациях на дорогах;

• уменьшить задержки и неритмичность движения общественного транспорта на 18-25%;

• обеспечить пассажиров информацией о движении маршрутного транспорта, в том числе конкретного транспортного средства на определенном маршруте;

• уменьшить вредные выбросы в атмосферу на 13-17%;

• уменьшить затраты горючего за счет оптимизации режимов движения транспорта на 15-20%.

Список литературы

1. НИР 11-06. Разработка концепции развития автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) и проект центра управления дорожным движением. Том 1. Разработка концепции развития автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД). – Донецк, ДААТ, 2012. – 67 с.

2. НИР 11-06. Разработка концепции развития автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) и проект центра управления дорожным движением. Том 2. Проект центра управления дорожным движением. - Донецк, ДААТ, 2012. – 165 с.

3. Хаханов В.И., Энглези И.П., и др. Зеленая волна – облако мониторинга и управления дорожным движением // АСУ и приборы автоматики. – Харьков: ХНУРЭ, 2012. – №3. – с. 4-21.

4. Хаханов В.И., Энглези И.П., и др. Облачная инфраструктура мониторинга и управления дорожным движением // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харьков: ХНУРЭ, 2013. – №5(64). – с. 106-111.

Бєлов Ю.В., Полєтайкін О.М. Вдосконалення системи управління транспортом на основі концепції інтелектуальної транспортної системи

Анотація. *Розглянуто структуру і призначення основних складових частин Автоматизованої системи управління транспортом (АСУТ), яка побудована на основі концептуальної моделі Інтелектуальної транспортної системи (ІТС).*

Ключові слова: *транспортна система, структура, підсистеми, перелік функцій*

Belov Y., Polietaikin A. Improvement of the transport management system based on the concept of Intelligent Traffic Systems

Abstract.*The structure and functions of the main parts of the Automated system of traffic management (asut), the conceptual model Intelligent Traffic Systems (ITS).*

Keywords: *transport system, structure, subsystem, function list*

Стаття надійшла до редакції 05.05.2015 р.

УДК 351.811.123

ГРАБЕЛЬНИКОВ В.А., к.ю.н., доцент
Донецкая академия автомобильного транспорта,
ЯБЛУНОВСКАЯ И.А., ст. преподаватель
Донецкая академия автомобильного транспорта

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

В статье предложены пути усовершенствования государственного регулирования работы городского пассажирского транспорта. Определены главные особенности института государственно-частного партнерства в области городского пассажирского транспорта.
Ключевые слова: *государственное регулирование, городской пассажирский транспорт, государственно-частное партнерство.*

Постановка проблемы

Усовершенствование государственного регулирования работы городского пассажирского транспорта (ГПТ), современной транспортной инфраструктуры городского хозяйства является актуальной задачей, решение которой, как показывает опыт, часто отстает от изменений внешней и внутренней среды, требуя разработки специальных механизмов в направлении стратегии целесообразных изменений.

Анализ исследований и публикаций

Исследуя данную проблему, ученые признают, что необходимо четко определить роль городского транспорта в системе государственной собственности, обозначив при этом, что имущество организаций и предприятий городского транспорта используется ими на правах полного хозяйственного владения.

Исследованию регулирования работы ГПТ посвящены работы О. Антоненко, К. Гнединой, О. Костецкого, И. Лысенко [1-4] и др. Но отдельные проблемы, на которые влияет экономическое состояние регионов, остаются нерешенными и нуждаются в дальнейшем изучении.

Цель статьи

Целью статьи является рассмотрение путей усовершенствования организации и функционирования государственного регулирования работы городского пассажирского транспорта.

Основной раздел

На сегодня финансовое положение многих предприятий пассажирского транспорта остается неустойчивым. Отечественный и зарубежный опыт убеждают в том, что главным рычагом влияния на финансовое положение производителей транспортных услуг является согласованная государственная налоговая инвестиционная политика. Необходима продуманная комплексная программа оздоровления всей системы пассажирского транспорта [1].

В то же время, как показывает практика, возможности повышения выручки предприятиями ГПТ очень ограничены. Стремление усилить борьбу с безбилетным проездом не дает удовлетворительных результатов. Даже при наилучшем результате можно рассчитывать лишь на некоторое снижение уровня убыточности городского транспорта, но не на полное ее преодоление.

Наиболее эффективным способом экономии на затратах по эксплуатации является сокращение штатов, увеличение интервалов и снижения скорости движения транспортных средств.

Практически в большинстве случаев это означает ухудшение качества транспортного обслуживания населения.

На сегодня нет единого решения проблемы городского транспорта, приемлемого для всех городов. Однако есть многочисленные примеры того, какие трудности возникают при отсутствии координации деятельности разных ведомств или взаимодействия между ними, а также в том случае, если не разработаны некоторые общие принципы снятия препятствий на пути к реальной интеграции.

Координацию в сфере пошлин может облегчить четкое законодательное распределение ответственности между разными уровнями власти. Юридически оформленные механизмы особенно нужны в тех случаях, когда в пределах одной территории к решению транспортных проблем причастны разные ведомства.

Успешное функционирование, скажем, автотранспортного комплекса в городе зависит от слаженности работы органов исполнительной власти, предприятий и организаций: государственных и коммерческих перевозчиков, ремонтных заводов, автозаправочных станций, автовокзалов и автостанций, предприятий материально-технического снабжения, дорожных служб и т.п.

Одним из направлений реформирования системы ГПТ является внедрение элементов стратегического менеджмента [4].

Высший уровень управления – органы государственной власти. На этом уровне разрешается задача организации централизованного управления перевозками на единой базе с возможностью эффективного обмена данными между диспетчерскими и информационными системами разных министерств и ведомств, обеспечение координации действий транспортных и других подразделов городских служб во время выполнения функциональных задач.

Функции регулирования пассажирских перевозок в городе должны быть возложены на организацию (государственное учреждение), которая административно будет независима от перевозчиков. В этом учреждении должна концентрироваться вся первичная информация о работе транспорта города, собранная с помощью технических средств, достоверность которой не будет зависеть от человеческого фактора.

На государственное учреждение управления пассажирскими перевозками города целесообразно возложить такие основные функции:

– формирование показателей плановой работы и расписаний движения подвижного состава на маршрутной сети города;

– фиксацию фактической работы подвижного состава и оперативное диспетчерское управление движением на всей маршрутной сети города;

– подготовку отчетов о работе подвижного состава на линии для покрытия потерь перевозчиков из бюджета (за работу на социальных маршрутах).

В основу транспортной политики государства в области ГПТ в целом должен быть положен принцип распределения государственных функций регулирования области и выполнения хозяйственных функций. При этом государство, сокращая свое участие как субъекта предпринимательской деятельности в конкурентных секторах рынка транспортных услуг, должно повышать эффективность внеотраслевого регулирования на транспорте, направляя его на повышение качества обслуживания и снижение общественных затрат, связанных с транспортной деятельностью.

Во время формирования перспективной финансово-экономической модели функционирования городского пассажирского транспорта государство призвано решать следующие задачи:

– сделать невозможным создание неоправданных конкурентных преимуществ для одних операторов перед другими;

– сократить монопольные сферы деятельности с постепенным замещением прямого государственного регулирования (в том числе, с помощью установления тарифов) рыночными методами регулирования (в том числе, методами антимонопольного регулирования и контроля);

– при субсидировании отдельных видов деятельности обеспечить переход от покрытия убытков транспортных операторов к закупке транспортных услуг или к адресной компенсации затрат потребителей транспортных услуг.

Усовершенствование системы регулирования работы ГПТ должно охватывать, на наш взгляд, ряд важных направлений.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности транспортной отрасли вообще и ГПТ в частности является привлечение частного капитала в форме государственно-частного партнерства (ГЧП). Механизм ГЧП, кроме того, позволяет одолеть ограниченные возможности финансирования инфраструктурных проектов. С помощью использования механизма ГЧП можно оптимизировать распределение рисков между государством и частным сектором, наладить эффективный контроль за использованием бюджетных средств. Важно иметь в виду и такие преимущества механизма ГЧП, как распределение обязательств государственного и частного секторов, стойкий характер их взаимодействия, право собственности на активы и распределение прибыли.

Главными особенностями института государственно-частного партнерства относительно области ГПТ являются:

– объединение возможностей государства и частного бизнеса для общего предоставления социально значимых услуг и реализации социально значимых проектов;

– нахождение оптимального соотношения между двумя крайностями – стопроцентно государственным предоставлением услуг и их полной приватизацией;

– сохранение объекта ГЧП (в зависимости от источника инвестиций и создания этого объекта) в государственной или частной собственности;

– прямое регулирование деятельности единственного оператора транспортных услуг там, где невозможно или нецелесообразно развитие конкурентной среды;

– прозрачность отношений государства с частным сектором и конкурентность в выборе коммерческих контрагентов.

Для развития системы государственно-частного партнерства (ГЧП) на пассажирском транспорте города, особенно его наземной части, на наш взгляд, необходимо изменить финансовые условия функционирования городского транспорта, которые ныне в своей прибыльной части базируются на заниженных по социальным причинам тарифах и бюджетных дотациях. Это ограничивает возможности ГЧП, делая его привлекательным для частных структур лишь в области коммерческих перевозок по рыночным ценам (такси, в том числе маршрутные).

По нашему мнению, в систему управления ГПТ целесообразно внедрить комплексный государственный заказ на создание благоприятных и конкурентоспособных условий перевозок пассажиров по видам транспорта, обусловив в этом заказе как достижения конкретных параметров качества и объема перевозок, так и величину платы за проезд при их достижении. При этом пассажирский транспорт должен постепенно переходить от дотационной финансовой системы к финансовой системе, ориентированной на полную окупаемость и прибыль, соответствующую общественно-нормальным условиям хозяйствования, порождаемого эффективным регулированием транспорта.

Еще одним вариантом преодоления дотационного подхода к финансированию пассажирского транспорта и достижения им коммерчески приемлемого уровня рентабельности (что принципиально важно для развития государственно-частного партнерства) является повышение тарифов на пассажирские перевозки до рыночного уровня с предоставлением всем малообеспе-

ченным слоям населения адресных дотаций на покрытие транспортных затрат. Однако этот вариант менее приемлем по ряду причин.

Во-первых, ориентация тарифов на максимально возможный рыночный уровень без государственного регулирования приведет, с одной стороны, к значительному их повышению, а с другой – к резкому сокращению предложения оказания транспортных услуг вследствие чрезмерной дороговизны. К тому же это станет еще одним стимулом к расширению пользования индивидуальным автомобильным транспортом. А это, в свою очередь, входит в противоречие с пропускной способностью улично-дорожной сети города.

Во-вторых, установление тарифов на уровне между коммерческими претензиями перевозчиков и их социально приемлемыми величинами, что означает компромисс между свободой рынка и его государственным регулированием, исходя из необходимости решения социальных задач, по мере перехода на сторону социальных ограничений тарифа ослабляет экономическую заинтересованность частных предприятий и организаций в системе государственно-частного партнерства.

В-третьих, сама система социальных компенсаций высоких тарифов за транспортные услуги в принципе не может быть отлажена надлежащим образом по причине неравномерного пользования услугами транспорта жителями города (например, один малообеспеченный работает рядом с домом, а другой – добирается к работе тремя видами транспорта) [3].

Развитие ГЧП в транспортной системе сдерживается рядом факторов, к которым, на наш взгляд, надо отнести такие:

– не разработаны механизмы оценки составления и контроля выполнения соответствующих соглашений;

– существенно не хватает органов, специально уполномоченных выполнять необходимые функции на межведомственном уровне;

– предусмотренные законодательством только арендная и подрядная формы ГЧП позволяют привлекать частный капитал к решению лишь ограниченного круга задач.

Применение на пассажирском транспорте ГЧП должно обеспечить:

– снижение нагрузки на бюджет за счет привлечения частных средств и переложение части затрат на пользователей (коммерциализации предоставления услуг);

– возможность осуществления общественно значимых проектов, малоинтересных для традиционных форм частного финансирования, а также более быстрое освоение инвестиций;

– повышение эффективности проектов за счет участия в них частного бизнеса, как правило, более эффективного на рынке, чем государственные институты;

– сокращение государственных рисков за счет переложения части рисков проекта на частного партнера;

– возможность привлечения лучших управленческих кадров, техники и технологий;

– повышение качества услуг.

Для эффективного ГЧП на ГПТ нужна более активное участие государства, поскольку социально-экономическая результативность проектов, как правило, значительно превышает прямые финансовые выгоды оператора объекта транспортной инфраструктуры; уровень платежеспособного спроса сравнительно с необходимыми затратами не вызывает интереса у потенциальных инвесторов.

Стратегия государственно-частного партнерства в сфере ГПТ как приоритеты должна предусмотреть решение двух главных задач, а именно:

1. Обеспечение доступности транспортных услуг для населения города. Эта задача имеет два аспекта – экономический и организационный. Экономическая доступность обеспечивается обоснованностью тарифа и предоставления льгот отдельным категориям населения. Организа-

ционная доступность предполагает возможность получения услуги там и в том виде, в котором это необходимо населению.

2. Обеспечение безопасности перевозок, которое состоит в комплексном решении вопросов содержания транспортных средств в технически исправном состоянии, соблюдении требований к квалификации водителей, контроле за режимом их работы и отдыха, соблюдении правил дорожного движения, обеспечении безопасных дорожных условий.

Основной акцент в решении вышеупомянутых задач должен быть сделан на разработке механизмов регулирования и контроля. Например, в условиях регулирования тарифов на перевозку требуется гибкое объединение рыночных и административных механизмов управления, а учитывая наличие пробелов в государственном законодательстве, необходимо разрабатывать нормативно-правовую базу регулирования работы перевозчиков на городских маршрутах. Для разрешения этой задачи предлагается начать с разработки методики и формирования нормативной базы учета затрат для всех видов транспорта.

Возвращаясь к механизму государственно-частного партнерства, следует сказать, что основной принцип его реализации должен состоять в формировании такой деловой среды для перевозчиков разных форм собственности, которая базировалась бы на неизменных и понятных критериях и требованиях к долгосрочному сотрудничеству.

Приоритетной задачей является разработка нормативно-правовой базы, которая обеспечивает четкое законодательно обусловленное распределение прав, ответственности и рисков между государством и частными инвесторами, а также определение приоритетных сфер применения механизма государственно-частного партнерства на транспорте.

Выводы

Государству, на наш взгляд, необходимо разработать и реализовать комплекс таких мер:

– усовершенствование норм законодательства, которые регулируют вопрос оформления прав собственности на государственное имущество транспортной области, а также вопрос пользования земельными участками организациями транспортного комплекса;

– проведение приватизации имущества транспортной отрасли с учетом целей и задач транспортной стратегии; условий использования государственного имущества.

Таким образом, решение проблем оптимального усовершенствования организации, функционирования и дальнейшего развития ГПТ (как важная общегосударственная социально-экономическая задача) должно находиться под государственным контролем, где имеются все необходимые интеллектуальные и организационно-экономические ресурсы и возможности.

Список литературы

1. Антоненко О.А. Деякі проблемні питання в перевезенні міським пасажирським транспортом та шляхи їх вирішення / О.А. Антоненко // Правове забезпечення адміністративної реформи. – 2008. – №1. – С. 117-118.

2. Гнедіна К.В. Специфіка міського пасажирського транспорту / К.В. Гнедіна. – Режим доступу: http://www.confcontact.com/2009specpr/gnedina.htm

3. Костецький В.В. Особливості організації фінансового забезпечення функціонування і розвитку підприємств електротранспорту / О.В. Костецький // Формування ринкових відносин в Україні. – 2006. – т.№ 2. – С. 39-42.

4. Лисенко І.В. Реформування управління системами міського пасажирського транспорту /І.В. Лисенко // Збірник наукових праць НТУ. – 2009. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vntu/2009_19_2/pdf/34.pdf

Грабельников В.А., Яблуновська І.А. Удосконалення державного регулювання роботи міського пасажирського транспорту

Анотація. *В статті запропоновано шляхи вдосконалення державного регулювання роботи міського пасажирського транспорту. Визначено головні особливості інституту державно-приватного партнерства в галузі міського пасажирського транспорту.*

Ключові слова: *державне регулювання, міський пасажирський транспорт, державно-приватне партнерство*

Grabelnikov V. A., Yablunovskaya I. A. Improving state regulation of urban passenger transport

Annotation. *The article defines and suggests ways of improving state regulation of municipal passenger transport. Allocated main characteristics of public-private partnership institute on the field of municipal passenger transport.*

Keywords: *government regulation, municipal passenger transport, public-private partnership.*

Стаття надійшла до редакції 12.05.2015 р.

УДК 539.3:678-462

АДРОВ Д.С., к.т.н.
Донецкий институт железнодорожного транспорта

ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУСКА СТАЦИОНАРНОГО ДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

На основании проведенных исследований показана возможность и целесообразность использования теплового аккумулятора фазового перехода для повышения эффективности пуска стационарного двигателя в условиях низких температур.
***Ключевые слова**: тепловой аккумулятор, утилизация энергии, предпусковой подогрев, холодный пуск*

Постановка проблемы

В настоящее время, несмотря на предельно низкие цены на нефть, наблюдается стабильный рост цен на конечные энергоносители, такие как бензин, дизельное топливо и газ. Все это в полной мере можно отнести к эксплуатации транспортных средств и стационарных энергетических установок, где рост цен на топливо существенно повышает долю эксплуатационных затрат в себестоимости и цене конечного продукта. Попытки снизить затратную часть за счет перевода рабочего процесса на альтернативные виды топлива не обеспечивают должного эффекта из-за ограниченности потенциальных возможностей производства синтетических топлив, их относительно низкого энергосодержания и нежелательных побочных явлений при их сгорании в энергетических установках. Поэтому поиск путей снижения расхода топлива транспортными средствами и энергетическими установками в настоящее время весьма актуален.

Как показывает практика, наиболее реальный путь снижения себестоимости эксплуатации лежит в снижении удельных затрат топлива за счет совершенствования технологии смесеобразования и процессов сгорания топлива, снижении доли потерь в энергетическом балансе работы энергетической установки.

Характерным явлением эксплуатации транспортных средств и стационарных энергетических установок является частая смена режимов работы: простоя, прогрева, приема и сброса нагрузки. Такая смена режимов предполагает значительные потери энергии при классическом варианте прогрева перед приемом нагрузки. В настоящее время ведутся работы по оснащению транспортных средств и энергетических установок предпусковыми подогревателями и оптимизации процесса. Совершенствование процесса прогрева двигателя и внедрение системы предпускового прогрева с использованием теплового аккумулятора позволяет существенно сократить расход топлива и снизить себестоимость перевозок или эксплуатации стационарной энергетической установки.

Цель работы

Исследовать возможность снижения эксплуатационных расходов стационарной энергетической установки путем организации предварительного прогрева двигателя перед пуском и приемом нагрузки при помощи теплового аккумулятора.

Исследовательская часть

Дизельные двигатели железнодорожного, речного, морского транспорта, приводные двигатели стационарных энергетических установок согласно организации их работы в большом ко-

личестве ежесуточно выводятся в 6-12-ти часовой горячий отстой. Организация работы этого вида транспорта связана с периодическим выводом их в режим горячего отстоя. При отрицательных температурах воздуха поддержание положительной температуры воды в системе охлаждения дизеля достигается его работой на холостом ходу. Тратится огромное количество дорогостоящего дизельного топлива, которое еще и становится все более дефицитным.

Пуск двигателя – необходимое условие работы любой энергетической установки. Организация пуска всегда требует дополнительного оборудования, усложнение и удорожание двигателя – дополнительного технического обслуживания его, а проведение пуска всегда сопровождается сокращением моторесурса, перерасходом топлива, повышенными выбросами токсичных компонентов. Особенно сложным, затрудненным, сопровождаемым не только снижением моторесурса, но и опасностью аварии, является «холодный» пуск, то есть пуск непрогретого двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха.

Пусковые качества дизельных двигателей оцениваются предельной температурой надежного пуска и временем, необходимым для подготовки дизеля к принятию нагрузки. При пониженных температурах двигателя и окружающего воздуха пуск затрудняется, надежность пуска существенно снижается, а время подготовки к принятию нагрузки возрастает.

Эти характеристики зависят от конструктивных и эксплуатационных показателей дизеля: степени сжатия, параметров топливоподачи при пуске, момента сопротивления вращению вала дизеля, мощности электропусковой системы, марок применяемых топлив и масел и т. д. Предельная температура надежного пуска зависит от пусковых оборотов – частоты прокрутки коленчатого вала. Эта частота у «холодного» дизеля снижается, так как растет сопротивление прокручиванию вала, снижается емкость аккумуляторных батарей. Снижаются давление и температура воздуха в цилиндре в конце сжатия (Pc, Tc). В этих условиях возникают проблемы с самовоспламенением горючей смеси.

Наиболее эффективным способом повышения экономических показателей систем тепловой подготовки является усовершенствование способа подвода теплового потока к двигателю в комплексе с утилизацией тепловой энергии отработавших газов (ОГ).

Повысить надежность, безопасность, снизить ущерб моторесурсу при холодном пуске и приеме нагрузки непрогретым двигателем можно, используя принцип аккумулирования энергии ОГ двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и последующим подводом ее в систему охлаждения и смазки двигателя перед пуском и в процессе прогрева ДВС.

Наиболее целесообразным для достижения указанной цели является применение теплового аккумулятора (ТА) фазового перехода (плавления-затвердевания теплоаккумулирующих материалов). Такой способ обеспечивает высокую плотность запасаемой энергии при небольших перепадах температур [1].

Для подтверждения высказанных выше положений на кафедре подвижного состава железных дорог Донецкого института железнодорожного транспорта были проведены соответствующие экспериментальные исследования. Прежде всего, была разработана система регулирования температуры охлаждающей жидкости дизельной энергетической установки с утилизацией теплоты тепловым аккумулятором [2], усовершенствована схема системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, был разработан тепловой аккумулятор (ТА), техническая характеристика которого приведена в табл. 1.

Таблица 1

Техническая характеристика ТА системы регулирования температуры охлаждающей жидкости дизельной энергетической установки с утилизацией теплоты [1]

Наименование	Характеристика
Теплоаккумулирующий материал	полиэтилен высокой плотности (табл. 2)
Масса теплоаккумулирующего материала, кг	19
Масса теплового аккумулятора с ТАМ, кг	33,25
Габаритные размеры ТА, мм	164x280x480
Теплоизоляция	Пенопласт и двухслойный вспененный полимер, покрытый алюминиевой фольгой
Материал корпуса ТА	Нержавеющая сталь
Материал теплообменника ТА	Латунь
Тепловая емкость ТА, кВт	47,5
Время хранения теплового заряда, час	38

Таблица 2

Свойства ТАМ [1]

Параметр	Характеристика
Плотность, кг/м^3	0,956
Температура фазового перехода, К	398…408
Удельная теплота фазового перехода, кДж/кг	230
Удельная теплоемкость, кДж/кг·К	2,5
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,25

При изучении влияния эффективности предпускового прогрева и ускоренного прогрева от теплового аккумулятора после пуска ДВС объектом исследования служила стационарная энергетическая установка с тепловым аккумулятором, укомплектованная системой утилизации тепловой энергии ОГ и доработанной системой охлаждения, позволяющей модулировать подачу охлаждающей жидкости в зависимости от заложенных алгоритмов работы системы.

Для изучения влияния скорости потока охлаждающей жидкости на эффективность работы теплового аккумулятора и систему предпускового прогрева от ТА в целом исследовалось несколько режимов работы системы. Исследования были проведены на специально разработанной экспериментальной установке, имитирующей систему выпуска ОГ.

В одном случае системой, аналогичной системе выпуска ОГ с ТА в режиме зарядки, в другом – тем же ТА в режиме отдачи теплоты, то есть разрядки. В ходе эксперимента оценивались в одном случае – зависимость времени зарядки ТА от температуры теплоносителя, а во втором – времени разрядки ТА от скорости теплоносителя.

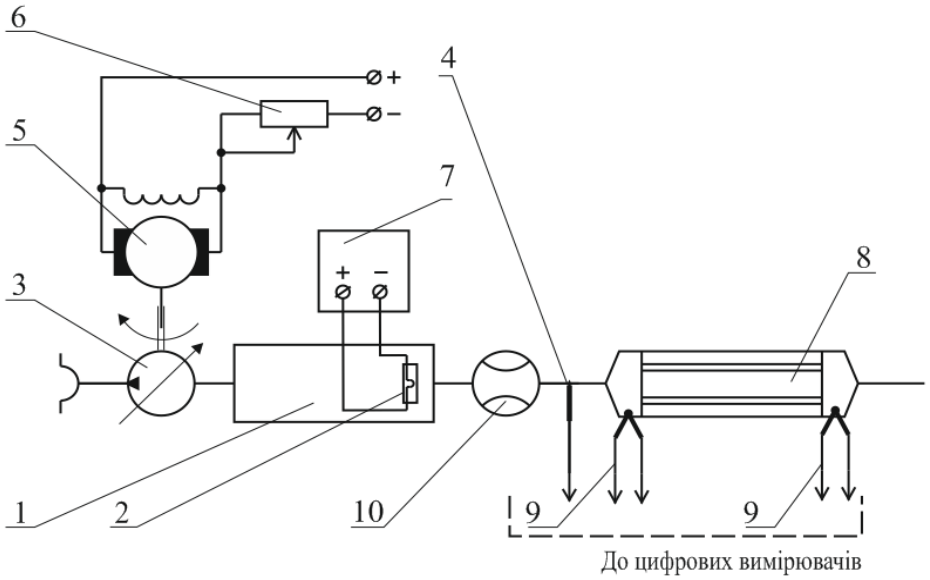
Цель испытаний – получение экспериментальных данных по времени зарядки теплового аккумулятора в зависимости от теплоносителя с разными температурами и времени разрядки в зависимости от скорости циркуляции теплоносителя в контуре ТА отбора теплоты.

В условиях специализированной лаборатории были проведены испытания теплового аккумулятора системы утилизации и накопления тепла ОГ и системы охлаждения в режиме зарядки с целью определения времени зарядки при разной температуре зарядного теплоносителя.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, а общий вид – на рис. 2. Испытания заключались в том, что выполнялась зарядка разработанного теплового аккумулятора до температуры фазового перехода теплоаккумулирующего материала (ТАМ) 125^{o}С. Зарядка аккумулятора производилась семь раз с различными температурами теплоносителя, тепловой аккумулятор заряжался до температуры ТАМ 125^{o}С.

После каждой зарядки выполнялась разрядка теплового аккумулятора до температуры ТАМ в 20°С с разной скоростью циркуляции теплоносителя, после чего выполнялась новая зарядка, но уже с другой температурой теплоносителя.

Температуру ТАМ фиксировали с помощью трех хромель-алюмелевих термопар с диапазоном измерения температур -200...1200 °С. Измерения температуры ТАМ проводились в трех точках на входе, середине и выходе из ТА.



1 – тепловой генератор; 2 – нагревательный элемент; 3 – воздушный нагнетатель; 4 – термопара; 5 – двигатель постоянного тока; 6 – переменное сопротивление; 7 – система регулирования нагревающим элементом; 8 – тепловой аккумулятор; 9 – термопары; 10 – газовый расходомер G6

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

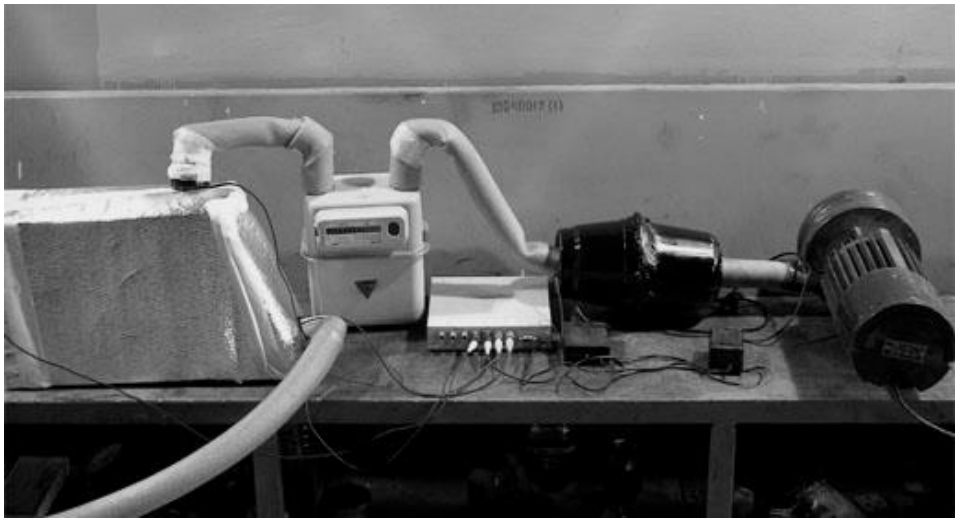


Рис.2. Общий вид экспериментальной установки для испытаний ТА

При установке термопар в ТА выполнялось требование идентичности их размещения относительно ТАМ.

Результаты измерения времени зарядки в зависимости от температуры теплоносителя приведены в табл. 3 и 4, а также на рис. 3 и 4.

Параметр, изменение которого исследовалось, – время зарядки и разрядки теплового аккумулятора 8. Изменение температуры теплоносителя происходило за счет регулирования нагревом элемента 2 теплогенератора 1. Изменение скорости потока происходило путем регулирова-

ния сопротивлением 6 двигателя постоянного тока 5 нагнетателя 3. Проводились испытания для 7 точек, которые охватывают с равным интервалом эксплуатационные режимы зарядки теплового аккумулятора и испытания для 8 точек разрядки ТА, которые охватывают режимы работы циркуляционного насоса доработанной системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания. Температура воздуха после расходомера 6, в воздушном патрубке, измерялась с помощью термопары типа ТХК № 13765 с диапазоном измерения -200...600^{o} С и регистрировались с помощью осциллографа.

Таблица 3

Зависимость времени зарядки ТА от температуры теплоносителя

Время зарядки, с		Температура ТАМ, ^{0}С											
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	125
Температура теплоносителя, ^{0}С	110	0	336	650	985	1150	1389	1715	2145	2456	2815	3156	3698
	120	0	276	536	796	1006	1303	1530	1790	2015	2315	2645	3087
	130	0	231	465	685	904	1085	1245	1454	1708	1950	2258	2798
	140	0	215	454	645	854	998	1280	1520	1680	1883	2204	2435
	150	0	185	365	528	756	954	1064	1258	1502	1696	1940	2138
	160	0	184	339	504	701	904	1085	1204	1379	1604	1849	2034
	170	0	171	304	506	608	806	1022	1184	1307	1548	1715	1895

Таблица 4

Зависимость времени разрядки ТА от скорости теплоносителя

Время разрядки, с		Температура ТАМ, ^{0}С											
		125	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
Скорость теплоносителя, м/с	0,08	0	36	65	99	123	168	234	336	443	518	596	723
	0,1	0	29	61	93	115	145	173	225	335	426	547	671
	0,12	0	25	56	75	104	135	156	198	285	385	495	615
	0,14	0	21	43	69	85	129	139	181	245	332	421	564
	0,16	0	19	39	61	81	109	125	173	215	291	368	522
	0,18	0	17	35	48	75	101	116	156	198	256	345	455
	0,2	0	16	31	45	60	86	102	143	168	223	301	415
	0,22	0	14	26	42	55	75	96	124	142	192	259	368

Расход воздуха фиксировался с помощью роторного счетчика G6 фирмы UGI Meters LTD, London №001750. Время прогрева фиксировалось секундомером телефона Nokia 7370 №357612005829909.

Испытания проводились следующим образом: с помощью системы управления элементом нагрева теплогенератора устанавливалась фиксированная температура теплоносителя, после чего теплоноситель принудительно, с помощью нагнетателя 3, подавался к ТА 8. Отсчет времени велся с начала зарядки ТА, то есть от температуры 20^{o}С, и фиксировался каждые 10^{o}С до заданной температуры ТАМ 125^{o}С.

Разрядка ТА происходила следующим образом: после зарядки ТА к контуру отбора теплоты подключался нагнетатель 3, фиксировалась скорость, с которой он подает теплоноситель, и выполнялась фиксация времени разрядки каждые 10^{o}С падения температуры ТАМ.

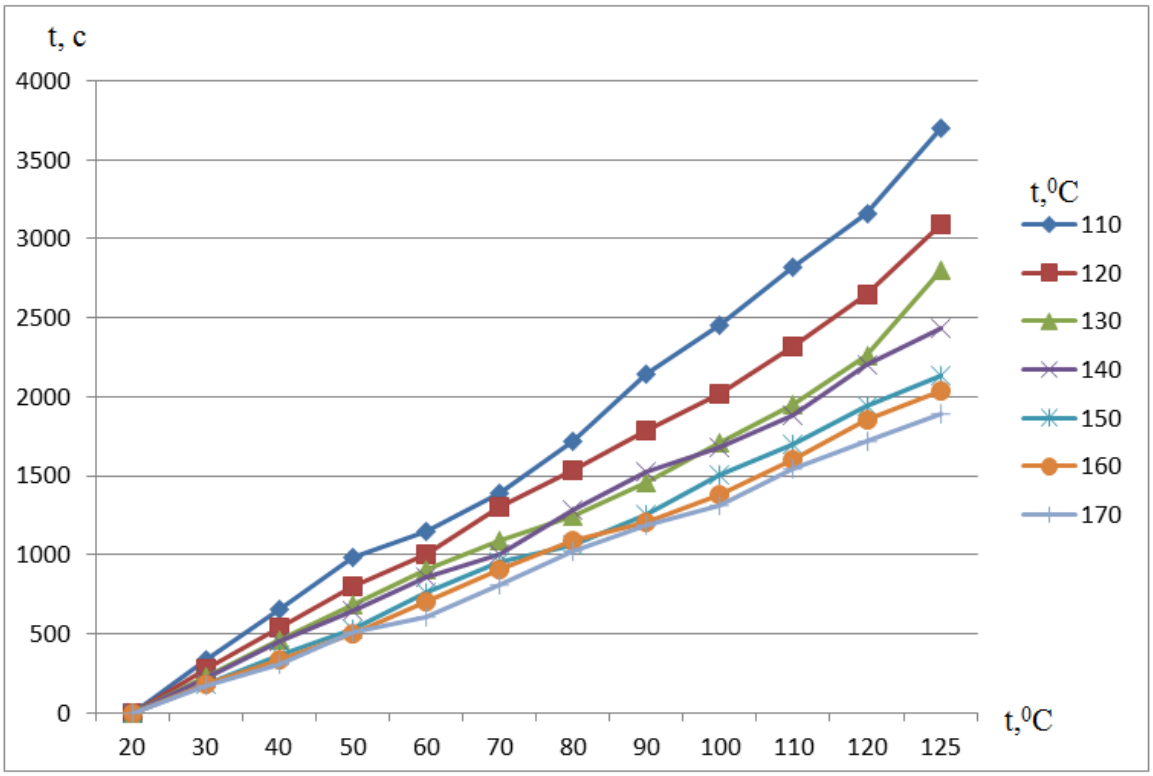


Рис.3. Зависимость времени зарядки ТА от температуры теплоносителя

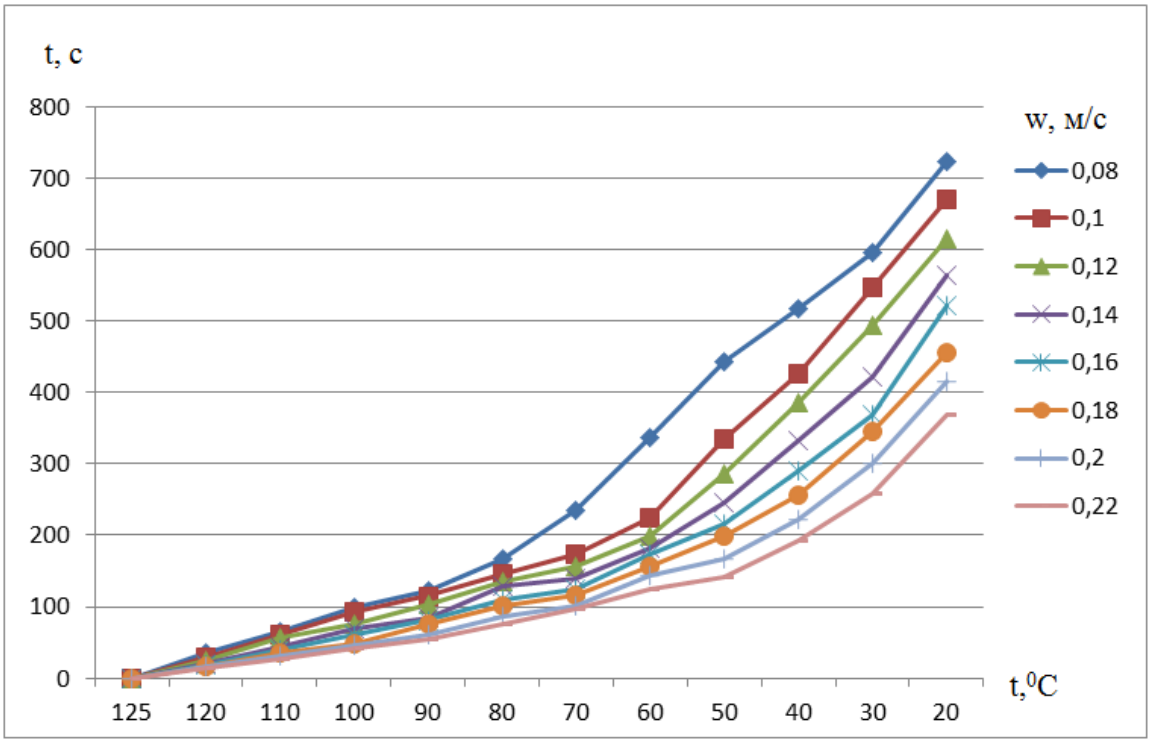


Рис.4. Зависимость времени разрядки ТА от скорости теплоносителя

Выводы

1. Разработанный тепловой аккумулятор фазового перехода с теплоаккумулирующим материалом – полиэтиленом высокой плотности – показал свою работоспособность при испытаниях на специальном стенде как при зарядке, так и при разрядке.

2. ТА данной конструкции возможно устанавливать в систему охлаждения стационарного двигателя внутреннего сгорания для повышения пусковой температуры его в холодных климатических условиях и повышения эффективности его пуска.

3. Приведенные материалы достаточно убедительно свидетельствуют о целесообразности использования в системе охлаждения ДВС для повышения температуры последнего перед пуском.

Список литературы

1. Левенберг. В.Д. Аккумулирование тепла. – М.: Наука, 1991. – 83 с.

2. Система регулирования температуры охлаждающей жидкости газопоршневого электроагрегата с утилизацией теплоты с тепловым аккумулятором. Положительное решение на декларационный патент на полезную модель, решение № 14025/3B/11 заявка № u2011 01845, дата подачи 17.02.2011, МКП F01P 3/22 (2006.01), Национальный транспортный университет, RU / Грицук И.В., Краснокутская З.И., Адров Д.С., Вербовский В.С., Черняк Ю.В., Прилепский Ю.В., Гущин А.М., Дорошко В.И.

Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності запуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур

Анотація. *На підставі проведених досліджень показано можливість і доцільність використання теплового акумулятора фазового переходу для підвищення ефективності запуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур.*

Ключові слова: *тепловий акумулятор, утилізація енергії, передпусковий підігрів, холодний пуск*

Adrov D.S. The heat accumulator as a means of improving the efficiency of the stationary engine start in low temperatures

Abstract*.On the basis of the conducted researches the opportunity and expediency of use of the heat accumulator phase transition to increase the efficiency of the stationary engine start in low temperatures.*

Keywords: *thermal storage, energy recovery, pre-heating, cold start*

Стаття надійшла до редакції 12.04.2015 р.

УДК 621.1.016

ГУЩИН А.М., к. т. н., доцент; ПРИЛЕПСКИЙ Ю.В., к. т. н., доцент;
ОСТАНЬКОВИЧ А.Д.
Донецкий институт железнодорожного транспорта

ГАЗОВЫЕ СМЕСИ И СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕ

В работе показана возможность определения параметров газовой смеси при заранее заданном объеме, заранее заданном давлении или заранее заданной температуре при отсутствии химических реакций между компонентами газовой смеси и теплообмена с внешней средой.
***Ключевые слова**: смесь газовая, объем заданный, давление заданное, температура заданная, параметры смеси*

Постановка задачи

Смешивание газовых компонентов осуществляется в разнообразных машинах и устройствах. Например, в эжекторах смешивание газовых компонентов является основным процессом работы данного устройства. В поршневых компрессорах после такта выталкивания сжатого воздуха происходит смешивание оставшейся порции сжатого воздуха с порцией засасываемого воздуха. Аналогичные процессы наблюдаются и в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания. В бензиновых двигателях на такте впуска происходит смешивание паров бензина с воздухом и остатками отработавших газов.

При смешивании газовых компонентов с определенным комплексом характеристик формируется газовая смесь с новыми параметрами, отличными от исходных. При управлении технологическими процессами, связанными со смесеобразованием в газовых средах, необходимо четко знать алгоритм формирования ожидаемых параметров конечного продукта. Особенно это важно для высокодинамичных процессов, таких, например, как формирование состава рабочей смеси для работы высокооборотных двигателей внутреннего сгорания на переходных режимах.

В литературных источниках, в том числе в учебной литературе по термодинамике [1,...,10], отсутствует решение подобной задачи. Вместе с тем, ее решение позволило бы создать математическую модель и алгоритмы формирования рабочей смеси в двигателях внутреннего сгорания и интерполировать этот процесс на последующие периоды. То есть начинать формирование рабочей смеси заранее, еще до наступления соответствующего момента переходного процесса. В данной работе осуществлена попытка решения подобной задачи.

Цель работы

Целью работы является установление зависимостей для определения параметров состояния газовой смеси по известным параметрам состояния газовых компонентов, образующих смесь.

Основная часть

При расчетах параметров смесеобразования и состояния газовой смеси накладываются два ограничения: в процессе смесеобразования не происходят химические реакции между отдельными газовыми компонентами; в процессе смесеобразования отсутствует теплообмен с внешней средой.

На величины параметров состояния отдельных газовых компонентов и газовой смеси накладываются ограничения: они не должны принимать нулевые значения и не должны быть равными бесконечности.

При рассмотрении процессов смесеобразования используются известные уравнения термодинамики.

Уравнение состояния газа:

$$PV = mRT\,, \tag{1}$$

где P – давление газового компонента или газовой смеси;

V – объём газового компонента или газовой смеси;

m – масса газового компонента или газовой смеси;

R – удельная газовая постоянная газового компонента или газовой смеси;

T – температура газового компонента или газовой смеси.

Масса газовой смеси: $m = \sum_{i=1}^{n} m_i$, а значение удельной газовой постоянной $R_{см}$ определяется по одной из зависимостей:

$$R_{см} = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{V_{см}} R_i\,; \quad R_{см} = \sum_{i=1}^{n} \frac{m_i}{m_{см}} R_i\,, \tag{2}$$

где $R_{см}$ – удельная газовая постоянная для газовой смеси;

V_i , $V_{см}$ – объём отдельного i-того газового компонента и газовой смеси;

R_i – удельная газовая постоянная отдельного i-того газового компонента.

Уравнение адиабатного процесса:

$$PV^K = const \quad \text{или} \quad P_1V_1^K = P_iV_i^K\,, \tag{3}$$

где P_1 и P_i – давление первого и i-того состояний газового компонента или газовой смеси;

V_1 и V_i – объём первого и i-того состояний газового компонента или газовой смеси;

K – показатель адиабатного процесса (показатель адиабаты).

Используются понятия: парциальное давление газового компонента в газовой смеси и парциальный объём газового компонента в газовой смеси.

В общем случае задача смесеобразования распадается на три отдельных задачи.

Задача 1 – определение параметров газовой смеси при смешивании газовых компонентов в некотором заранее заданном объёме $V_{см}$.

Задача 2 – определение параметров состояния газовой смеси и необходимого объёма смеси для достижения заранее заданного давления смеси $P_{см}$.

Задача 3 – определение параметров газовой смеси и её объёма при заранее заданной температуре смеси $T_{см}$.

Решение задачи 1.

Имеются два газовых компонента с параметрами состояния P_1, V_1, m_1, T_1, R_1 и P_2,V_2, m_2, R_2, T_2. Определить параметры газовой смеси $P_{см}$ и $T_{см}$, если смешивание производят в заранее заданном объёме $V_{см}$.

Решение. Используя уравнение адиабатного процесса, приводим параметры состояния обоих компонентов к объёму газовой смеси $V_{см}$.

Согласно соотношению (3) можно записать два уравнения:

$$P_1 V_1^K = P_1' V_{см}^K ; \;\; P_2 V_2^K = P_2' V_{см}^K , \tag{4}$$

где P'_1 – давление первого газового компонента после изменения его объёма от V_1 до $V_{см}$;

P'_2 – то же для второго газового компонента.

Из уравнений (4) можно получить:

$$P_1' = P_1 \left(\frac{V_1}{V_{см}} \right)^K ; \;\; P_2' = P_2 \left(\frac{V_2}{V_{см}} \right)^K , \tag{5}$$

Таким образом, новые состояния характеризуются следующими параметрами: для первого газового компонента – P'_1 и $V_{см}$; для второго газового компонента – P'_2 и $V_{см}$.

По двум найденным параметрам P и V можно определить температуру этих компонентов. Согласно уравнению (1) и соотношениям (5) можно записать:

$$T_1' = \frac{P_1' V_{см}}{m_1 R_1} = \frac{V_{см}}{m_1 R_1} P_1 \left(\frac{V_1}{V_{см}} \right)^{\kappa} ; \tag{6}$$

$$T_2' = \frac{V_{см}}{m_2 R_2} P_2 \left(\frac{V_2}{V_{см}} \right)^{\kappa} \tag{7}$$

Если же соотношения mR в уравнениях (6) и (7) заменить согласно (1) на $mR = \frac{PV}{T}$, то уравнения (6) и (7) после преобразований примут вид:

$$T_1' = T_1 \left(\frac{V_1}{V_{см}} \right)^{K-1} ; \quad T_2' = T_2 \left(\frac{V_2}{V_{см}} \right)^{K-1} \tag{8}$$

Далее параметры состояния газовых компонентов P'_1, T'_1, $V_{см}$ (первый газовый компонент) и P'_2, T'_2, $V_{см}$ (второй газовый компонент) приводим к температуре газовой смеси $T_{см}$.

Поскольку в этом случае объёмы каждого газового компонента и смеси одинаковы, то к этому процессу нельзя применить уравнение адиабатного процесса.

Используют уравнение первого закона термодинамики в виде:

$$Q = \Delta U + \int P dV \tag{9}$$

В нашем случае объём V=const, тогда уравнение (9) перепишется в виде:

$$Q = \Delta U , \tag{10}$$

где Q – сообщаемая в процессе теплота;

ΔU – изменение внутренней энергии рабочего тела (газовых компонентов).

Уравнение (10) применимо к изменению состояния первого и второго газовых компонентов при изменении их температур от T'_1 до $T_{см}$ – для первого газового компонента и от T'_2 до $T_{см}$ – для второго газового компонента.

При раскрытии уравнения (10) будем считать, что в общем случае удельная массовая изохорная теплоёмкость C_v является функцией температуры. Тогда можно записать два уравнения:

$$Q_1 = m_1 C_{v_1}\left(T_{см}\right)\cdot T_{см} - m_1 C_{v_1}\left(T_1'\right)\cdot T_1', \tag{11}$$

$$Q_2 = m_2 C_{v_2}\left(T_{см}\right)\cdot T_{см} - m_2 C_{v_2}\left(T_2'\right)\cdot T_2', \tag{12}$$

где $C_{v_1}\left(T_{см}\right)$ – удельная массовая изохорная теплоёмкость первого газового компонента при температуре смеси $T_{см}$;

$C_{v_1}\left(T_1'\right)$ – то же при температуре T'_1;

$C_{v_2}\left(T_{см}\right)$ – удельная массовая изохорная теплоёмкость второго газового компонента при температуре смеси $T_{см}$.

$C_{v_2}\left(T_2'\right)$ – то же при температуре T'_2.

Для того чтобы удовлетворить ранее принятое допущение о том, что процесс смешивания газовых компонентов – адиабатный, необходимо, чтобы сумма теплот $Q_1+Q_2=0$. Исходя из этого требования, из уравнений (11) и (12) можно записать:

$$m_1 C_{v_1}\left(T_{см}\right)\cdot T_{см} - m_1 C_{v_1}\left(T_1'\right)\cdot T_1' + m_2 C_{v_2}\left(T_{см}\right)\cdot T_{см} - m_2 C_{v_2}\left(T_2'\right)\cdot T_2' = 0 \tag{13}$$

Уравнение (13) перепишем в виде:

$$m_1 C_{v_1}\left(T_{см}\right)\cdot T_{см} + m_2 C_{v_2}\left(T_{см}\right)\cdot T_{см} = m_1 C_{v_1}\left(T_1'\right)\cdot T_1' + m_2 C_{v_2}\left(T_2'\right)\cdot T_2' \tag{14}$$

Решение уравнения (14) относительно неизвестной величины $T_{см}$ зависит от формы связи удельной изохорной теплоёмкости C_v с температурой Т.

Рассмотрим первый случай: удельная массовая изохорная теплоёмкость C_v не зависит от температуры.

Тогда из уравнения (14) можно получить:

$$T_{см} = \frac{m_1 C_{v_1} T_1' + m_2 C_{v_2} T_2'}{m_1 C_{v_1} + m_2 C_{v_2}} \tag{15}$$

В уравнение (15) подставим соотношения (8):

$$T_{см} = \frac{m_1 C_{v_1}\cdot T_1\left(\frac{V_1}{V_{см}}\right)^{K-1} + m_2 C_{v_2} T_2\left(\frac{V_2}{V_{см}}\right)^{K-1}}{m_1 C_{v_1} + m_2 C_{v_2}} \tag{16}$$

Давление газовой смеси $P_{см}$ может быть определено как сумма парциальных давлений газовых компонентов либо по формуле:

$$P_{см} = \frac{m_{см} R_{см} T_{см}}{V_{см}} \tag{17}$$

Формула (16) получена для случая смешивания двух газовых компонентов. Если же смешивается несколько газовых компонентов, то она примет вид:

$$T_{см} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot C_{v_i} \cdot T_i \left(\frac{V_i}{V_{см}} \right)^{\kappa - 1}}{\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot C_{v_i}}. \qquad (18)$$

Второй случай: удельная массовая изохорная теплоёмкость изменяется от температуры по линейному закону:

$$C_v = a + bT \qquad (19)$$

В этом случае можно записать:

$$C_{v_1} = a_1 + b_1 T\,; \quad C_{v_2} = a_2 + b_2 T \qquad (20)$$

С учётом соотношений (20) можно записать:

$$\begin{aligned} &C_{v_1} T_{см} = \left(a_1 + b_1 T_{см}\right) T_{см}; && C_{v_2} T_{см} = \left(a_2 + b_2 T_{см}\right) T_{см}; \\ &C_{v_1} T_1' = \left(a_1 + b_1 T_1'\right) T_1'; && C_{v_2} T_2' = \left(a_2 + b_2 T_2'\right) T_2' \end{aligned} \qquad (21)$$

Соотношения (21) подставляем в (14):

$$m_1 \left(a_1 + b_1 T_{см}\right) T_{см} + m_2 \left(a_2 + b_2 T_{см}\right) T_{см} = m_1 \left(a_1 + b_1 T_1'\right) T_1' + m_2 \left(a_2 + b_2 T_2'\right) T_2' \qquad (22)$$

После преобразований получаем:

$$A T_{см}^2 + B T_{см} - C = 0 \qquad (23)$$

где $A = m_1 b_1 + m_2 b_2$;

$B = m_1 a_1 + m_2 a_2$;

$C = m_1 b_1 T_1'^2 + m_2 b_2 T_2'^2 + m_1 a_1 T_1' + m_2 a_2 T_2'$ (24)

Решение уравнения (24) имеет вид:

$$T_{см} = \frac{1}{2A}\left(\pm\sqrt{B^2 + 4AC} - B\right) \qquad (25)$$

Знак минус перед корнем в уравнении (25) не соответствует физическому смыслу задачи, поэтому решение уравнения (23) имеет вид:

$$T_{см} = \frac{1}{2A}\left(\sqrt{B^2 + 4AC} - B\right) \qquad (26)$$

Давление газовой смеси может быть определено как сумма парциальных давлений газовых компонентов или по уравнению:

$$P_{см} = m_{см} R_{см} T_{см} / V_{см} \tag{27}$$

Уравнения (26) и (27) получены для случая смешивания двух газовых компонентов. Если смешиваются несколько газовых компонентов, то величины A, B, C, входящие в эти формулы, будут определяться по зависимостям:

$$A = \sum_{i=1}^{n} m_i b_i;\ \ B = \sum_{i=1}^{n} m_i a_i;\ \ C = \sum_{i=1}^{n} m_i b_i T_i'^2 + \sum_{i=1}^{n} m_i a_i T_i' \tag{28}$$

Третий случай: удельная массовая изохорная теплоемкость определяется по квадратичной зависимости от температуры, тогда соотношения (19) запишутся в следующей форме:

$$\begin{aligned} c_{v1} T_{см} &= \left(c_1 + d_1 T_{см} + l_1 T_{см}^2\right) T_{см}; & c_{v2} T_{см} &= \left(c_2 + d_2 T_{см} + l_2 T_{см}^2\right) T_{см}; \\ c_{v1} T_1' &= \left(c_1 + d_1 T_1' + l_1 T_1'^2\right) T_1'; & c_{v2} T_2' &= \left(c_2 + d_2 T_2' + l_2 T_2'^2\right) T_2' \end{aligned} \tag{29}$$

Соотношения (29) подставляем в (14):

$$\begin{aligned} &m_1 \left(c_1 + d_1 T_{см} + l_1 T_{см}^2\right) T_{см} + m_2 \left(c_2 + d_2 T_{см} + l_2 T_{см}^2\right) T_{см} = \\ &= m_1 \left(c_1 + d_1 T_1' + l_1 T_1'^2\right) T_1' + m_2 \left(c_2 + d_2 T_2' + l_2 T_2'^2\right) T_2' \end{aligned} \tag{30}$$

Уравнение (30) является уравнением третьей степени относительно искомой величины $T_{см}$.

Уравнение (30) представим в виде:

$$D T_{см}^3 + E T_{см}^2 + F T_{см} - G = 0 \tag{31}$$

где:
$$\left.\begin{aligned} D &= m_1 l_1 + m_2 l_2; \\ E &= m_1 d_1 + m_2 d_2; \\ F &= m_1 c_1 + m_2 c_2; \\ G &= m_1 \left(c_1 + d_1 T_1' + l_1 T_1'^2\right) T_1' + m_2 \left(c_2 + d_2 T_2' + l_2 T_2'^2\right) T_2' \end{aligned}\right\} \tag{32}$$

Решение уравнения (31) осуществляется с использованием формулы Карно; при этом, если смешиваются несколько газовых компонентов, выражения (32) принимают вид:

$$\left.\begin{aligned} &D = \sum_{i=1}^{n} m_i l_i; \quad E = \sum_{i=1}^{n} m_i d_i; \quad F = \sum_{i=1}^{n} m_i c_i; \\ &G = \sum_{i=1}^{n} m_i \left(c_i + d_i T_i' + l_i T_i'\right) T_i'; \end{aligned}\right\} \tag{33}$$

Задача 2 – Имеются два газовых компонента с параметрами состояния P_1, V_1,T_1, m_1,R_1 (первый компонент) и P_2, V_2,T_2, m_2,R_2 (второй компонент). Определить температуру $T_{см}$ и объем смеси $V_{см}$, если необходимо обеспечить давление смеси $P_{см}$.

Решение. Газовые компоненты приводим к давлению $P_{ст}$ путем адиабатного процесса согласно уравнению (3).

Для первого газового компонента это уравнение будет иметь вид:

$$P_1 V_1 = P_{см} V_1' \tag{34}$$

и для второго газового компонента:

$$P_2 V_2 = P_{см} V_2' , \tag{35}$$

где V_1' – объем первого газового компонента после приведения его давления к давлению газовой смеси;

V_2' – то же для второго газового компонента.

Из уравнений (34) и (35) находим объемы V_1' и V_2':

$$V_1' = V_1 \left(\frac{P_1}{P_{см}} \right); \quad V_2' = V_2 \left(\frac{P_2}{P_{см}} \right) \tag{36}$$

Таким образом, после проведения адиабатного процесса с каждым газовым компонентом они имеют параметры состояния: $P_{см}, V_1'$ – для первого газового компонента и $P_{см}, V_2'$ – для второго газового компонента, а значения температур этих газовых компонентов определим по уравнению состояния идеального газа (1):

$$T_1' = P_{см} V_1' \frac{1}{m_1 R_1}; \qquad T_2' = P_{см} V_2' \frac{1}{m_2 R_2} \tag{37}$$

В формуле (37) подставим значения V_1' и V_2' по (36), а значения mR заменим на соответствующие величины по (1):

$$T_1' = P_{см} V_1 \left(\frac{P_1}{V_{см}} \right)^{1/K} \frac{T_1}{P_1 V_1} = T_1 \left(\frac{P_{см}}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}}; \tag{38}$$

$$T_2' = P_{см} V_2 \left(\frac{P_2}{V_{см}} \right)^{1/K} \frac{T_2}{P_2 V_2} = T_2 \left(\frac{P_{см}}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} \tag{39}$$

Далее газовые компоненты с приведенными выше параметрами приводим к температуре смеси $T_{см}$, для чего, как показано выше, для каждого газового компонента запишем уравнения первого закона термодинамики в виде:

$$Q = \Delta U + \int P dV \tag{40}$$

В нашем случае давление $P=const$ и равно заданному давлению $P_{см}$, тогда уравнение (40) в общем виде запишется следующим образом:

$$Q = m C_v (T)(T_2 - T_1) + P \Delta V , \tag{41}$$

где C_v – удельная массовая изохорная теплоемкость, являющаяся функцией температуры.

Применительно к первому газовому компоненту уравнение (41) запишется в форме:

$$Q_1 = m_1\left[C_{v1}\left(T_{см}\right)T_{см} - C_{v1}\left(T_1'\right)T_1'\right] + P_{см}\left(V_{см} - V_1'\right), \tag{42}$$

где $C_{v1}\left(T_{см}\right)$ – удельная массовая изохорная теплоемкость первого газового компонента при температуре $T_{\text{см}}$;

$C_{v1}(T_1')$ – то же при температуре T_1'.

$$Q_2 = m_2\left[C_{v2}\left(T_{см}\right)T_{см} - C_{v2}(T_2')T_2'\right] + P_{см}\left(V_{см} - V_2'\right), \tag{43}$$

где $C_{v2}\left(T_{см}\right)$ – удельная массовая изохорная теплоемкость второго газового компонента при температуре $T_{\text{см}}$;

$C_{v2}(T_2')$ – то же при температуре T_2'.

Для удовлетворения условия о том, что при смешивании газовых компонентов отсутствует теплообмен с внешней средой, необходимо, чтобы сумма теплоты Q_1 и Q_2 была равна нулю. При этом условии должна быть равна нулю и сумма правых частей уравнений (42) и (43):

$$\begin{aligned} &m_1C_{v1}\left(T_{см}\right)T_{см} - m_1C_{v1}\left(T_1'\right)T_1' + P_{см}\left(V_{см} - V_1'\right) + m_2C_{v2}\left(T_{см}\right)T_{см} - \\ &-m_2C_{v2}\left(T_2'\right)T_2' + P_{см}\left(V_{см} - V_2'\right) = 0 \end{aligned}, \tag{44}$$

Где $C_{v1}\left(T_{см}\right), C_{v1}\left(T_1'\right), C_{v2}\left(T_{см}\right), C_{v2}\left(T_2'\right)T_2'$ – удельные массовые изохорные теплоемкости для первого и второго газовых компонентов, зависящие от температур $T_{см}, T_1', T_2'$.

Рассмотрим три случая связи удельной изохорной теплоемкости C_v с температурой T.

Случай 1. Удельная массовая изохорная теплоемкость C_v не зависит от температуры.

Тогда уравнение (44) перепишется в форме:

$$\begin{aligned} &m_1 C_{v1}T_{см} - m_1C_{v1}T_1' + P_{см}\left(V_{см} - V_1'\right) + \\ &+m_2 C_{v2}T_{см} - m_2C_{v2}T_2' + P_{см}\left(V_{см} - V_2'\right) = 0 \end{aligned} \tag{45}$$

Раскрываем значения величин T_1' и T_2' по (38) и (39), значения величин V_1' и V_2' – по (28), а произведения $P_{см}V_{см}$ заменим на $m_{см}V_{см}T_{см}$, тогда из уравнения (45) найдем искомую температуру $T_{\text{см}}$:

$$T_{см} = \frac{P_{см}\left[V_1\left(\frac{P_1}{P_{см}}\right) + V_2\left(\frac{P_2}{P_{см}}\right)^{1/K} + m_1C_{v1}T_1\left(\frac{P_{см}}{P_1}\right)^{K-1/K} + m_2C_{v2}T_2\left(\frac{P_{см}}{P_2}\right)^{K-1/K}\right]}{m_1C_{v1} + m_2C_{v2} + 2m_{см}R_{см}}. \tag{46}$$

Объем $V_{\text{см}}$, в котором необходимо производить смесеобразование для получения заданного давления $P_{\text{см}}$, определяем из соотношения:

$$V_{см} = \frac{1}{P_{см}} m_{см}R_{см}T_{см} \tag{47}$$

Формула (46) для определения $T_{см}$ получена для случая, когда смешиваются два газовых компонента. Если же в смешивании участвуют несколько газовых компонентов (*«n»* компонентов), то формула (46) будет иметь вид:

$$T_{см} = \frac{P_{см}\left[\sum_{i=1}^{n} V_i \left(\frac{P_i}{P_{см}}\right)^{1/K} + \sum_{i=1}^{n} m_i C_{vi} T_i \left(\frac{P_{см}}{P_i}\right)^{K-1/K}\right]}{\sum_{i=1}^{n} m_i C_{vi} + n m_{см} R_{см}}.$$

Случай 2. Удельная массовая изохорная теплоемкость C_v связана температурой линейной зависимостью вида $C_v = a + bT$.

Тогда уравнения (42) и (43) будут иметь вид:

$$Q_1 = m_1\left[(a_1 + b_1 T_{см})T_{см}\right] - m_1\left[(a_1 + b_1 T_1')T_1'\right] + P_{см}\left(V_{см} - V_1'\right); \tag{49}$$

$$Q_2 = m_2\left[(a_2 + b_2 T_{см})T_{см}\right] - m_2\left[(a_2 + b_2 T_2')T_2'\right] + P_{см}\left(V_{см} - V_2'\right). \tag{50}$$

Сумма левых частей в уравнениях (49) и (50) по условию задачи равна нулю, следовательно, сумма правых частей этих уравнений также равна нулю:

$$\begin{aligned} &m_1\left[(a_1 + b_1 T_{см})T_{см}\right] - m_1\left[(a_1 + b_1 T_1')T_1'\right] + \\ &+P_{см}\left(V_{см} - V_1'\right) + m_2\left[(a_2 + b_2 T_{см})T_{см}\right] - \\ &-m_2\left[(a_2 + b_2 T_2')T_2'\right] + P_{см}\left(V_{см} - V_2\right) = 0 \end{aligned} \tag{51}$$

В уравнении (51) произведение $P_{см}V_{см}$ заменяем по уравнению состояния газа (1):

$$P_{см}V_{см} = m_{см}R_{см}T_{см} \tag{52}$$

С учетом последнего соотношения уравнение (51) можно записать в виде:

$$AT_{см}^2 + BT_{см} - C = 0, \tag{53}$$

где $A = m_1 b_1 + m_2 b_2$; (54)

$B = m_1 a_1 + m_2 a_2 + 2m_{см}R_{см}$; (55)

$C = m_1 b_1 T_1' + m_2 b_2 T_2' + m_1 a_1 T_1' + m_2 a_2 T_2' + P_{см}\left(V_1' + V_2'\right)$. (56)

В уравнении (56) величины T_1', T_2', V_1' и V_2' заменим соответственно по соотношениям (36), (38) и (39):

$$C = m_1 b_1 T_1^2 \left(\frac{P_1}{P_{см}}\right)^{\frac{2(K-1)}{K}} + m_2 b_2 T_2^2 \left(\frac{P_{см}}{P_2}\right)^{\frac{2(K-1)}{K}} + m_1 a_1 T_1 \left(\frac{P_{см}}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} +$$
$$+ m_2 a_2 T_2 \left(\frac{P_{см}}{P_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} + P_{см}\left[V_1\left(\frac{P_1}{P_{см}}\right)^{1/K} + V_2\left(\frac{P_2}{P_{см}}\right)^{1/K}\right] \quad (57)$$

Уравнение (53) имеет два вещественных корня, один из которых не соответствует физическому смыслу задачи, так что:

$$T_{см} = \frac{1}{2A}\left(\sqrt{B^2 + 4AC} - B\right). \quad (58)$$

Объем, в котором необходимо смешивать газовые компоненты, чтобы давление смеси было равным заданному, определится из соотношения:

$$V_{см} = \frac{m_{см} R_{см} T_{см}}{P_{см}} \quad (59)$$

Формулы (58), (59) получены для случая смешивания двух газовых компонентов. Если смешивается несколько газовых компонентов («*n*» компонентов), то значения величин *A, B, C* по соотношениям (54), (55), (56) будут иметь вид:

$$A = \sum_{i=1}^{n} m_i b_i;\ B = \sum_{i=1}^{n} m_i a_i + n m_{см} R_{см};$$
$$C = \sum_{i=1}^{n} (m_i b_i T_i' + m_i a_i T_i') + P_{см} \sum_{i=1}^{n} V_i' \quad (60)$$

Случай 3. Удельная массовая изохорная теплоемкость C_v связана с температурой квадратичной зависимостью вида $C_v = c + dT + eT^2$, тогда уравнения (42) и (43) перепишутся в форме:

$$Q_1 = m_1\left(c_1 + d_1 T_{см} + e_1 T_{см}^2\right)T_{см} - m_1\left(c_1 + d_1 T_1' + e_1 T_1'^2\right)T_1' + P_{см}\left[V_{см} - V_1\left(\frac{P_1}{P_{см}}\right)^{1/K}\right] \quad (61)$$

$$Q_2 = m_2\left(c_2 + d_2 T_{см} + e_2 T_{см}^2\right)T_{см} - m_2\left(c_2 + d_2 T_2' + e_2 T_2'^2\right)T_2' + P_{см}\left[V_{см} - V_2\left(\frac{P_2}{P_{см}}\right)^{1/K}\right] \quad (62)$$

Для удовлетворения условия об отсутствии теплообмена с внешней средой в процессе смесеобразования сумма левых частей уравнений (61) и (62) должна быть равна нулю, тогда сумма и правых частей этих уравнений будет равна нулю. Отсюда следует:

$$m_1\left(c_1+d_1T_{см}+e_1T_{см}^2\right)T_{см}-m_1\left(c_1+d_1T_1'+e_1T_1'^2\right)T_1'+$$
$$+P_{см}\left[V_{см}-V_1\left(\frac{P_1}{P_{см}}\right)^{1/K}\right]+m_2\left(c_2+d_2T_{см}+e_2T_{см}^2\right)T_{см}- \qquad (63)$$
$$-m_2\left(c_2+d_2T_2'+e_2T_2'^2\right)T_2'+P_{см}\left[V_{см}-V_2\left(\frac{P_2}{P_{см}}\right)^{1/K}\right]=0$$

Уравнение (63) является алгебраическим уравнением третьей степени относительно неизвестной $T_{см}$. Это уравнение можно переписать в форме:

$$AT_{см}^3+BT_{см}^2+CT_{см}-D=0\,, \qquad (64)$$

где $A=m_1e_1+m_2e_2$; (65)

$B=m_1d_1+m_2d_2$; (66)

$C=m_1c_1+m_2c_2+2m_{см}R_{см}$; (67)

$$D=m_1e_1T_1^3\left(\frac{P_{см}}{P_1}\right)^{3\frac{K-1}{K}}+m_2e_2T_2^3\left(\frac{P_{см}}{P_2}\right)^{3\frac{K-1}{K}}+m_1d_1V_1^2\left(\frac{P_{см}}{P_1}\right)^{2\frac{K-1}{K}}+m_2d_2T_2^2\left(\frac{P_{см}}{P_2}\right)^{2\frac{K-1}{K}}+$$
$$+m_1c_1T_1\left(\frac{P_{см}}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}}+m_2c_2T_2\left(\frac{P_{см}}{P_2}\right)^{\frac{K-1}{K}}+P_{см}\left[V_1\left(\frac{P_1}{P_{см}}\right)^{1/K}+V_2\left(\frac{P_2}{P_{см}}\right)^{1/K}\right] \qquad (68)$$

Уравнение (64) получено для случая смешивания двух газовых компонентов. Если же смешиваются несколько газовых компонентов (*«n»* компонентов), то величины *A, B, C, D* в уравнении (64) будут иметь вид:

$$A=\sum_{i=1}^{n}m_ie_i;\quad B=\sum_{i=1}^{n}m_id_i;\quad C=\sum_{i=1}^{n}m_ic_i+nm_{см}R_{см};$$
$$D=\sum_{i=1}^{n}m_ie_iT_i^3\left(\frac{P_{см}}{P_i}\right)^{3\frac{K-1}{K}}+\sum_{i=1}^{n}m_id_iV_i^2\left(\frac{P_{см}}{P_i}\right)^{2\frac{K-1}{K}}++\sum_{i=1}^{n}m_ic_iT_i\left(\frac{P_{см}}{P_i}\right)^{\frac{K-1}{K}}+P_{см}\sum_{i=1}^{n}V_i\left(\frac{P_i}{P_{см}}\right)^{\frac{1}{K}}. \qquad (69)$$

С учетом соотношений (69) уравнение (64) решается с применением формулы Кардана.

Задача 3 – Имеются два газовых компонента с параметрами состояния P_1, T_1, V_1, m_1, R_1 (первый газовый компонент) и P_2, T_2, V_2, m_2, R_2 (второй газовый компонент). Требуется определить необходимый объем смеси $V_{см}$ и давление смеси $P_{см}$, если необходимо достичь температуру смеси $T_{см}$.

Решение. Газовые компоненты приводим к температуре $T_{см}$ путем адиабатного процесса. При этом давления и объемы газовых компонентов будут иметь некоторые промежуточные значения P_1', V_1', P_2' и V_2'.

Для этого промежуточного процесса запишем уравнения адиабатного процесса для каждого газового компонента.

Для первого газового компонента:

$$P_1V_1^{\kappa}=P_1'V_1'^{K}\,. \qquad (70)$$

Для второго газового компонента:

$$P_2V_2^{\kappa} = P_2'V_2'^{K}. \tag{71}$$

В уравнениях (70) и (71) значения величин P_1', V_1', P_2', V_2' нам неизвестны.

Напишем уравнения состояния для каждого газового компонента:

$$P_1'V_1' = m_1R_1T_{см}; \tag{72}$$

$$P_2'V_2' = m_2R_2T_{см}. \tag{73}$$

Из уравнений (72) и (73) выразим одну из неизвестных величин через другие величины:

$$P_1' = \frac{m_1R_1T_{см}}{V_1'}; \qquad P_2' = \frac{m_2R_2T_{см}}{V_2'} \tag{74}$$

Соотношения (74) подставляем в уравнения (70), (71):

$$P_1V_1^{\kappa} = \frac{m_1R_1T_{см}}{V_1'}V_1'^{K} = m_1R_1T_{см}V_1'^{K-1}; \tag{75}$$

$$P_2V_2^{\kappa} = \frac{m_2R_2T_{см}}{V_2'}V_2'^{K} = m_2R_2T_{см}V_2'^{K-1}. \tag{76}$$

Из уравнений (75) и (76) находим неизвестные величины V_1' и V_2':

$$V_1' = \sqrt[K-1]{\frac{P_1V_1^{K}}{m_1R_1T_{см}}}; \qquad V_2' = \sqrt[K-1]{\frac{P_2V_2^{K}}{m_2R_2T_{см}}}. \tag{77}$$

Уравнения (77) можно упростить, если осуществить замену

$$m_1R_1 = \frac{P_1V_1}{T_1}; \qquad m_2R_2 = \frac{P_2V_2}{T_2}.$$

Таким образом,

$$V_1' = \sqrt[K-1]{\frac{P_1V_1^{K}T_1}{P_1V_1T_{см}}} = \sqrt[K-1]{V_1^{K-1}\frac{T_1}{T_{см}}} = V_1\left(\frac{T_1}{T_{см}}\right)^{\frac{1}{K-1}}; \tag{78}$$

$$V_2' = \sqrt[K-1]{\frac{P_2V_2^{K}T_2}{P_2V_2T_{см}}} = \sqrt[K-1]{V_2^{K-1}\frac{T_2}{T_{см}}} = V_2\left(\frac{T_2}{T_{см}}\right)^{\frac{1}{K-1}}. \tag{79}$$

Значения давлений P_1', P_2' найдем из уравнений (74) с учетом соотношений (78) и (79) (через искомую температуру $T_{\text{см}}$).

$$P_1' = \frac{m_1 R_1 T_{см}}{V_1}\left(\frac{T_{см}}{T_1}\right)^{\frac{1}{K-1}}; \qquad P_2' = \frac{m_2 R_2 T_{см}}{V_2}\left(\frac{T_{см}}{T_2}\right)^{\frac{1}{K-1}}. \tag{80}$$

Уравнения (80) можно упростить, если осуществить замены:

$$m_1 R_1 = \frac{P_1 V_1}{T_1}, \qquad m_2 R_2 = \frac{P_2 V_2}{T_2},$$

тогда:

$$P_1' = \frac{P_1 V_1 T_{см}}{T_1 V_1}\left(\frac{T_{см}}{T_1}\right)^{\frac{1}{K-1}} = P_1\left(\frac{T_{см}}{T_1}\right)^{\frac{K}{K-1}}; \tag{81}$$

$$P_2' = \frac{P_2 V_2 T_{см}}{T_2 V_2}\left(\frac{T_{см}}{T_2}\right)^{\frac{1}{K-1}} = P_2\left(\frac{T_{см}}{T_2}\right)^{\frac{K}{K-1}}. \tag{82}$$

Таким образом, после приведения температуры газовых компонентов к заданной температуре $T_{см}$ давления компонентов составили: P_1'(81) и P_2'(82), их объемы V_1'(78) и V_2' (79).

Далее приведем объемы газовых компонентов V_1' и V_2' к объему газовой смеси $V_{см}$ при неизменной температуре $T_{см}$, то есть проведем изотермические процессы. Для этих изотермических процессов с газовыми компонентами запишем уравнения первого закона термодинамики:

$$Q = \Delta U + \int_{V_1}^{V_2} P\,dV. \tag{83}$$

Для изотермического процесса изменение внутренней энергии ΔU равно нулю, тогда:

$$Q = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV. \tag{84}$$

Для изотермического процесса работа выражается зависимостью:

$$\int_{V_1}^{V_2} P\,dV = mRT\,\ln\frac{V_2}{V_1}. \tag{85}$$

Для первого газового компонента теплота Q_1 выразится соотношением:

$$Q_1 = m_1 R_1 T_{см}\,\ln\frac{V_{см}}{V_1'}. \tag{86}$$

Для второго газового компонента теплота Q_2 выразится соотношением:

$$Q_2 = m_2 R_2 T_{см}\,\ln\frac{V_{см}}{V_2'}. \tag{87}$$

Для того, чтобы смесеобразование прошло без теплообмена с внешней средой, необходимо, чтобы сумма теплоты Q_1 и Q_2 была равной нулю, тогда из уравнений (86) и (87) можно записать:

$$m_1 R_1 T_{см} \ln \frac{V_{см}}{V_1'} + m_2 R_2 T_{см} \ln \frac{V_{см}}{V_2'} = 0 . \quad (88)$$

Уравнение (88) перепишем в иной форме:

$$\ln \left(\frac{V_{см}}{V_1'} \right)^{m_1 R_1} = \ln \left(\frac{V_2'}{V_{см}'} \right)^{m_2 R_2} . \quad (89)$$

Потенцируем уравнение (89):

$$\left(\frac{V_{см}}{V_1'} \right)^{m_1 R_1} = \left(\frac{V_2'}{V_{см}'} \right)^{m_2 R_2} . \quad (90)$$

Из уравнения (90) получаем:

$$V_{см}^{(m_1 R_1 + m_2 R_2)} = V_1'^{(m_1 R_1)} V_2'^{(m_2 R_2)} . \quad (91)$$

Из последнего уравнения находим искомые объемы каждого газового компонента, равные объему газовой смеси, если температура каждого из них равна температуре $T_{см}$:

$$V_{см} = \sqrt[(m_1 R_1 + m_2 R_2)]{V_1'^{m_1 R_1} V_2'^{m_2 R_2}} = V_1'^{\frac{m_1 R_1}{m_1 R_1 + m_2 R_2}} V_2'^{\frac{m_2 R_2}{m_1 R_1 + m_2 R_2}} . \quad (92)$$

Здесь значения объемов V_1' и V_2' определяются соответственно по уравнениям (78) и (79).

Давления каждого компонента при температуре $T_{см}$ и объеме $V_{см}$ найдем из уравнения состояния газов:

$$P_1'' V_{см} = m_1 R_1 T_{см} , \text{ откуда } P_1'' = m_1 R_1 \frac{T_{см}}{V_{см}} ; \quad (93)$$

$$P_2'' V_{см} = m_2 R_2 T_{см} , \text{ откуда } P_2'' = m_2 R_2 \frac{T_{см}}{V_{см}} . \quad (94)$$

Полученные значения давлений P_1'' и P_2'' являются парциальными давлениями газовой смеси. Следовательно, давление газовой смеси будет равно:

$$P_{см} = P_1'' + P_2'' = m_1 R_1 \frac{T_{см}}{V_{см}} + m_2 R_2 \frac{T_{см}}{V_{см}} = \frac{T_{см}}{V_{см}} \left(m_1 R_1 + m_2 R_2 \right) . \quad (95)$$

В формуле (95) объем газовой смеси $V_{см}$ определяется по формуле (92), а входящие в нее величины V_1' и V_2' – по формулам (78), (79).

Формулы (92) и (95) получены для случая смешивания двух газовых компонентов. В случае смешивания нескольких газовых компонентов («*n*» компонентов) формулы (92), (95) будут иметь вид:

$$V_{см} = \prod_{i=1}^{n} V_i'^{\left(\frac{m_i R_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i R_i} \right)}; \tag{96}$$

$$P_{см} = \frac{T_{см}}{V_{см}} \sum_{i=1}^{n} m_i R_i . \tag{97}$$

Выводы

1. Установлено, что общая задача смесеобразования распадается по крайней мере на три отдельных задачи, отличающиеся граничными условиями смесеобразования. Задача первая – задается объем, в котором производится смесеобразование; задача вторая – задается давление, которое должно быть достигнуто при смесеобразовании; задача третья – задается температура, которая будет сформирована при смесеобразовании.

2. Показано, что каждая из отмеченных задач имеет единственное решение, если в процессе смесеобразования не происходят химические реакции и не происходит теплообмен с внешней средой.

3. Очевидно, что в процессе смесеобразования может осуществляться механическая работа, как положительная, так и отрицательная. Отрицательная работа будет осуществляться, например, в случае, когда смесеобразование происходит в объеме, большем суммы начальных объемов смешивающихся газовых компонентов.

4. Полученные зависимости после адаптации к реальным условиям процесса формирования рабочей смеси позволят более точно формировать состав рабочей смеси в двигателях внутреннего сгорания при работе на высокодинамичных переходных процессах.

Список литературы

1. Тареев В.М., Матвеев Г.А., Григорьев С.Н. Теплотехника: Учебник для механических факультетов институтов железнодорожного транспорта. – М.: Транспортное железнодорожное из-во, 1951. – 761 с.

2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: Учебн. пособие для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1969. – 560 с.

3. Щукин А.А., Сушкин И.Н., Зах Р.Г. и др. Теплотехника. Изд. 2-е перераб. Учебн. для студентов нетеплоэнергетических специальностей. – М.: Металлургия, 1973. – 479 с.

4. Швец И.Т., Толубинский В.И., Алабовский А.Н. Теплотехника: Учебник для нетеплоэнергетических специальностей ВУЗов. – Киев, 1976. – 518 с.

5. Недужий И.А., Алабовский А.Н., Техническая термодинамика и теплопередача: Учебн. пособие для ВУЗов. Изд. 2-е перераб. и дополн. – Киев, «Вища школа», 1981. – 248 с.

6. Новиков И.И. Термодинамика: Учебник для энергомашиностроительных и теплотехнических специальностей ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.

7. Лариков Н.Н. Теплотехника: Учебн. для студентов ВУЗов специальности «Производство строительных изделий и конструкций». – М.: Стройиздат, 1985. – 432 с.

8. Архаров И.А., Исаев С.И., Кожевцов И.А. и др. Теплотехника / Под общ. ред. Крутова В.И. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.

9. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. и др. Теплотехника. Изд. 2-е, перераб. / Под общ. ред. Баскакова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

10. Куликов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Учебн. пособие. – Луганск: Из-во «Елтон-2», 2009. – 311 с.

Гущин А.М., Прилепський Ю.В., Останькович А.Д. Газові суміші та сумішоутворення

Анотація. *У роботі показано можливість визначення параметрів газової суміші при заздалегідь заданому об'ємі, заздалегідь заданому тиску або заздалегідь заданій температурі при відсутності хімічних реакцій між компонентами газової суміші й теплообміну із зовнішнім середовищем.*

Ключові слова*: суміш газова, обсяг заданий, тиск заданий, температура задана, параметри суміші.*

Gushin A.M., Prylepskyi Yu.V., Ostanjkovich A.D. The gas mixture and carburetion

Abstract. *The paper shows the possibility of determining the parameters of a gas mixture at a predetermined amount, a predetermined pressure or a predetermined temperature in the absence of chemical reaction between the components of the gas mixture and heat exchange with the external environment.*

Keywords: *the mixture of gases, the amount specified, the pressure is set, the set temperature, the mixture settings.*

Стаття надійшла до редакції 22.05.2015 р.

УДК 629.113

ЄФИМЕНКО А.М., здобувач
Національний транспортний університет

ДО АПРОКСИМАЦІЇ СИЛИ ТА МОМЕНТУ ВІДВЕДЕННЯ ПРУЖНОГО КОЛЕСА

Отримано нову зручну форму апроксимації сил відведення та стабілізуючого моменту на базі відомої моделі взаємодії пружного колеса з опорною поверхнею Фіала. Проведено апроксимацію експериментально отриманих залежностей сил та моментів відведення як функцій кута відведення при різних значеннях вертикального навантаження на основі запропонованого підходу.
Ключові слова: *пружне колесо, сила відведення, момент відведення, модель Фіала.*

Постановка проблеми

Дослідження стійкості та керованості транспортних засобів нерозривно пов'язані з визначенням залежності бічного відведення автомобільного колеса. Сили відведення при малих кутах відведення є лінійними функціями останніх, коефіцієнт пропорційності є коефіцієнтом опору відведення. При кутах відведення більше 10˚ залежність безрозмірної сили відведення має характер функції насичення - прагне до гранично можливого значення коефіцієнта зчеплення колеса з опорною поверхнею в поперечному напрямі. Отримані в експериментальних дослідженнях характеристики бічного відведення вказують на суттєво нелінійну залежність як коефіцієнта опору бічного відведення, так і гранично можливої сили зчеплення від величини вертикального навантаження, що припадає на колесо. Визначення аналітичних залежностей, що враховують фактор вертикального навантаження, дозволить більш точно дослідити динамічні якості транспортного засобу при зміні вертикальних навантажень по осях, зокрема, уточнити значення критичної швидкості.

Аналіз останніх досліджень

У роботі [1] наведено співставлення різних способів апроксимації сил відведення, у якості еталона була обрана магічна формула Пацейки, та розглянуто їх вплив на стійкість двоосного екіпажа в площині параметрів керування – повздовжньої швидкості руху та кута повороту керованих коліс. У роботах [2,3] проаналізовано підходи до апроксимації стабілізуючого моменту як функції кута відведення та аналізується вплив моменту відведення на характер фазових траєкторій в околі стаціонарного руху моделі екіпажу.

Мета статті

Отримати зручну форму апроксимації бічної сили та стабілізуючого моменту на базі відомої моделі взаємодії пружного колеса з опорною поверхнею Фіала та провести її верифікацію.

Основний розділ

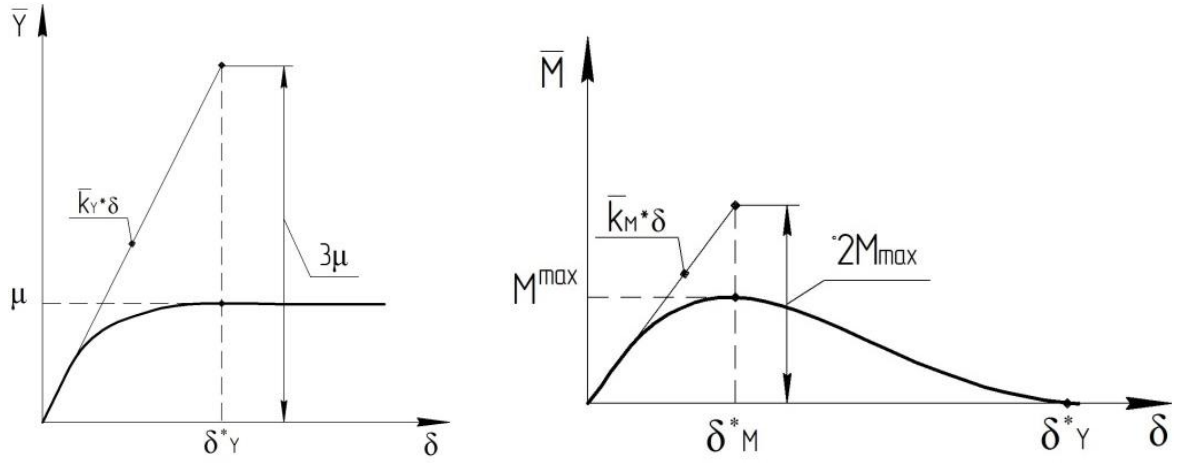
В дослідженні було використано нову (спрощену) модель взаємодії при коченні пружного колеса з відведенням, що базується на моделі Е. Фіала (використовуються залежності між характеристиками сил відведення та моменту відведення (стабілізаційного моменту)) [4].

В новій моделі взаємодії колеса з опорною поверхнею пропонується зберегти всі базові характеристики моделі Фіала, а саме:

– $\bar{k}_Y$ – визначає коефіцієнт опору відведенню та $\bar{k}_M$ стабілізуючому моменту;

– максимальне значення бічної сили $\bar{Y}_{\delta_{max}}$ та стабілізуючого моменту $\bar{M}_{max}$;

– кут відведення, що відповідає максимальній бічній силі δ^*_Y та стабілізуючому моменту δ^*_M.



а) *б)*

Рис. 1. Залежності бічної сили(а) та стабілізуючого моменту (б) як функції кута відведення (за моделлю Фіала)

В моделі Фіала базові характеристики сили та моменту відведення взаємопов'язані між собою співвідношеннями

$$\bar{k}_M = \frac{2}{3} R_2 \bar{k}_Y, \quad \delta^*_M = \frac{1}{4}\delta^*_Y, \quad \delta^*_Y = \frac{3\mu}{\bar{k}_Y}, \quad \bar{M}_{max} = \frac{27}{128} R_2 \mu,$$

що дає можливість по залежності сили відведення відтворювати залежність моменту відведення (R_2 – радіус поперечного перерізу тороідальної шини).

Далі бічну силу запропоновано визначати в параметричній формі (1):

$$\begin{cases} \bar{Y} = \dfrac{A \cdot t}{\left(t^2 + 1\right)} \\ \delta = \dfrac{t}{B\sqrt{1 - \left(\dfrac{t}{C}\right)^2}} \end{cases} \Rightarrow t = \frac{B\delta}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{B\delta}{C}\right)^2}}, \tag{1}$$

від якої легко перейти до явної залежності сили відведення як функції кута відведення (вилучивши параметр *t*).

Коефіцієнти A, B, C, що входять в співвідношення (1), визначаються через базові характеристики залежності бічної сили $Y'|_{\delta=0}$, δ^*_Y, $\bar{Y}_{\delta_{max}}$:

$$Y'|_{\delta=0} = \bar{k}_Y = AB; \quad \delta^*_Y = \frac{1}{B\sqrt{1 - \dfrac{1}{C^2}}}; \quad \bar{Y}_{\delta_{max}} = \mu = \frac{1}{2}A; \tag{2}$$

Далі розглянемо запропоновану загальну залежність для стабілізуючого моменту

$$\bar{M}(\delta) = \frac{A_1 \delta}{\left(B_1 \delta^4 + C_1 \delta^2 + 1\right)} \tag{3}$$

Параметри A_1, B_1, C_1, що входять в залежність (3), визначаються через базові геометричні характеристики залежності стабілізуючого моменту ($\bar{k}_M$, $\bar{M}_{max}$, δ^*_M):

$$A_1 = \bar{k}_M = \frac{2}{3} R_2 \bar{k}_Y; \qquad B_1 = -\frac{1}{2} \frac{A\delta^*_M - 2\bar{M}^{max}}{\bar{M}^{max} \left(\delta^*_M\right)^4}; \qquad C_1 = \frac{1}{2} \frac{3A \cdot \delta^*_M - 4\bar{M}^{max}}{\bar{M}^{max} \left(\delta^*_M\right)^2} \tag{4}$$

Для верифікації запропонованого методу апроксимації сили відведення та стабілізуючого моменту з урахуванням вертикальної реакції опорної поверхні, було використано результати експериментального дослідження (табл.1) автомобільного дослідного центру університету Мічиган [5,6].

Таблиця 1

Числові значення сил бічного відведення

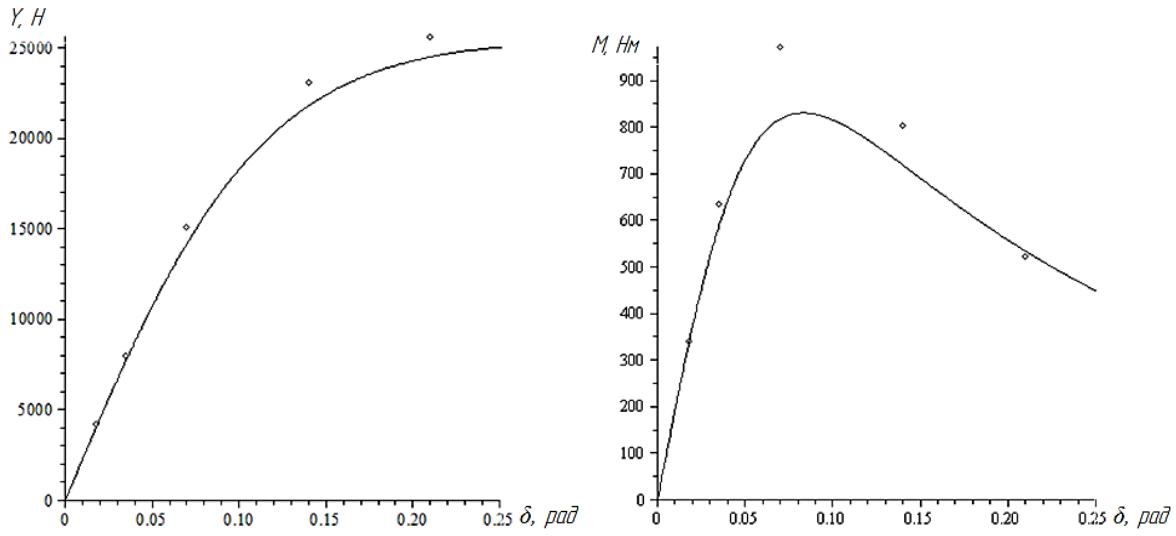
Кут відведення δ, °	Бічна сила відведення		
	Для навантаження N_1=1925 фунт с (8562,83 *Н*)	Для навантаження N_2=6600 фунт с. (29358,26 *Н*)	Для навантаження N_3=9300 фунт с. (41368,46 *Н*)
1	365,94	835,38	944,1
2	634,56	1611,09	1793,79
4	1070,82	2804,49	3398,76
8	1526,91	3938,22	5192,55
12	1804,53	4355,91	5759,01

В середовищі математичного пакету Maple було побудовано регресійні залежності між: коефіцієнтом опору відведення $\bar{k}_Y$ та вертикальним навантаженням на колесо *N*; максимальним значенням коефіцієнту зчеплення $\bar{Y}_{\delta_{max}}$ колеса з опорною поверхнею в поперечному напрямі та вертикальним навантаженням на колесо *N*.

Загальний вигляд залежностей $\bar{k}_Y$ та $\bar{Y}_{\delta_{max}}$ як функцій вертикальної реакції *N*

$$\begin{aligned} \bar{k}_Y &= (-1376.480828 + 10.632248 \cdot N - 0.122996 \cdot 10^{-3} \cdot N^2) / N; \\ \bar{Y}_{\delta_{max}} &= 1 / (N \cdot 0.150987 \cdot 10^{-3} - 5.335878 \cdot 10^{-9} \cdot N^2 + 6.002676 \cdot 10^{-14} \cdot N^3) \end{aligned} \tag{5}$$

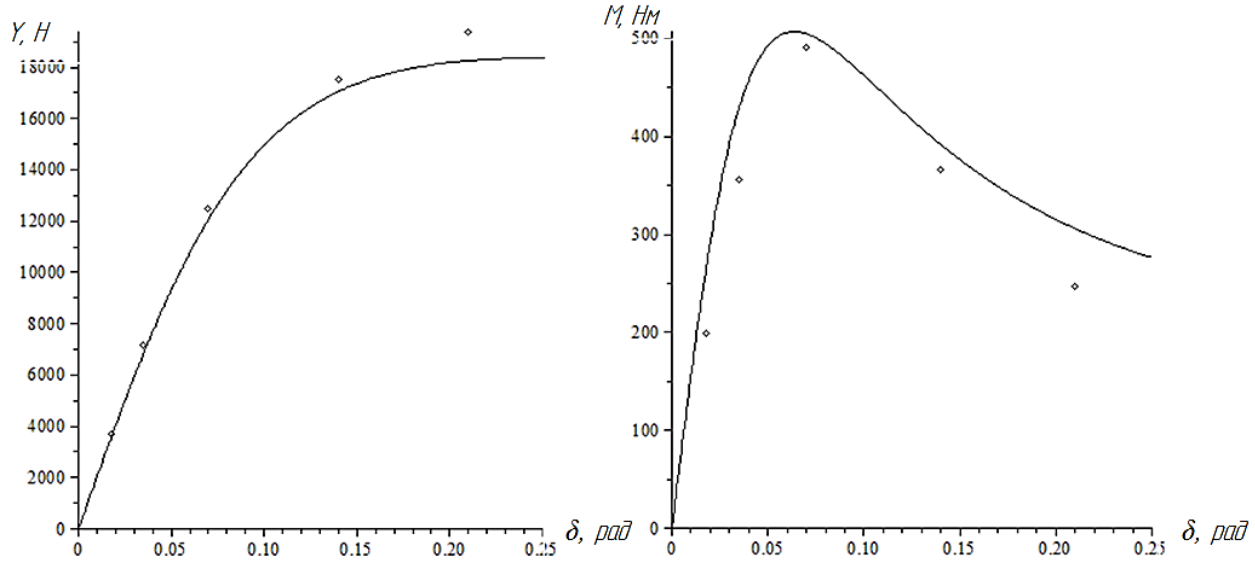
Використовуючи (5), на основі (1) та (3) побудовано графіки бічної сили як функції кута відведення при *N=41366,4 Н* та моменту відведення як функції кута відведення для навантаження *N= 41989,12 Н* (рис. 2), які порівнюються з результатами експерименту.



а) *б)*

Рис. 2. Порівняння аналітичної залежності бічної сили з даними експерименту для навантаження *N=41366.4 Н* (а) та аналітичної залежності моменту відведення для навантаження *N= 41989.12 Н* (б)

На рисунку 3 а, б наведено графік аналітичної залежності бічної сили (1) при *N= 29356.8 Н* та графік моменту відведення (3) при *N= 26554.56 Н*, які співставляються з результатами експерименту.



а) *б)*

Рис. 3. Порівняння аналітичної залежності бічної сили з даними експерименту для навантаження N=29356.8 *Н* (а) та аналітичної залежності моменту відведення для навантаження N= 26554.56 *Н* (б)

З порівняльного аналізу результатів випливає, що максимальна похибка по бічній силі не перевищує 5% та реалізується при кутах відведення більше 10 градусів, а по стабілізуючому моменту не перевищує 18%, та носить локальній характер - в околі екстремуму.

Висновки

Як видно з аналізу отриманих результатів, запропонована математична модель взаємодії пружного колеса з опорною поверхнею при коченні з відведенням достатньо точно описує як

бічну силу, так і момент відведення в досить широкому діапазоні вертикальних навантажень. Для реалізації цього підходу необхідно знання залежності коефіцієнта опору відведенню від вертикальної реакції опори та залежності коефіцієнта зчеплення шини з опорною поверхнею в поперечному напрямі від вертикальної реакції.

Список літератури

1. Костенко А.В. Побудова біфуркаційної множини із використанням параметричних функцій / А.В. Костенко, В.Г. Вербицький // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 3. – С. 70 – 75.

2. Сахно В.П. Вплив стабілізуючого моменту шин на курсову стійкість руху автомобіля / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, А.В. Костенко, Н.Л. Белевцова, А.М. Єфименко // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – Вип. 21 : Ч. 1. – С. 180 - 183.

3. Єфименко А.М. Аналіз методів апроксимації моментної гіпотези відведення / А.М. Єфименко, А.В. Костенко // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2011. - №122. - С. 107-110

4. Вербицький В. Г. До визначення нової математичної форми моделі Фіала пружного колеса / В. Г. Вербицький, А. М. Єфименко, Р. А. Кулієв, Ю.М. Стрільник // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр.. Вип. 134/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. - С. 127 – 130.

5. Technical Pages [Electronic resource]: ArcSim software. Available at: http://www.umtri.umich.edu/

6. Вербицкий В.Г. Автомобили. Устойчивость: Монография / В.Г. Вербицкий, В.П. Сахно, А.П. Кравченко, А.В. Костенко, А.Э. Даниленко. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 176 с.: ил.

Ефименко А.Н. К аппроксимации силы и момента увода упругого колеса.

Аннотация. *Получена новая удобная форма аппроксимации сил увода и стабилизирующего момента на базе известной модели взаимодействия упругого колеса с опорной поверхностью Фиала. Проведена аппроксимация экспериментально полученных зависимостей сил и моментов увода как функций угла увода при различных значениях вертикальной нагрузки на основе предложенного подхода.*

Ключевые слова: *упругое колесо, сила увода, стабилизирующий момент, модель Фиала.*

Yefimenko A.N. **To the approximation of the force and moment slip elastic wheels.**

Abstract. *The new convenient form of approximation of the force of drift and stabilizing moment based on a known model of interaction of the elastic wheel with the supporting surface of Fiala is received. An approximation of the experimentally obtained dependencies of forces and moments slip as functions of slip angle for different values of the vertical load on the basis of the proposed approach is conducted.*

Keywords: *elastic wheel, force of drift, stabilizing moment, the Fiala model.*

Стаття надійшла до редакції 12.06.2015 р.

УДК 621.867.82

ГУЩИН О.В., к.т.н., доцент,
Донбасская государственная машиностроительная академия

АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА УЧАСТКЕ ЗАГРУЗКИ В ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫЙ ТРУБОПРОВОД АГРЕГАТА ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ СМЕСЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье рассмотрены результаты аналитических исследований условий формирования структурированных аэросмесей на участке входа сыпучего материала в пневмотранспортный трубопровод. Показаны особенности течения аэросмесей при верхнем подводе дополнительной воздушной струи. На основе уравнения быстрых движений для элементарного объема рассматривается устойчивость равновесия границы воздухоматериального потока. В соответствии с законами турбулентности определены основные характеристики вихрей, возникающих при пульсационном движении. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования действия воздушных струй на сыпучий материал при разработке новейших типов загрузочных устройств для пневмотранспортных установок, работающих при структурированных режимах течения аэросмеси.

Ключевые слова: *пневматический транспорт, загрузочное устройство, воздушная струя, сыпучий материал*

Постановка проблемы

Трансформация структуры течения аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе при перемещении хорошо сыпучих материалов путем управляемой генерации воздушных потоков и вихрей позволяет интенсифицировать процессы массопереноса. Одним из методов интенсификации является использование дополнительных воздушных струй, действующих на движущийся в трубопроводе сыпучий материал [1]. Выполненные исследования [2] показали достаточно высокую работоспособность пневмотранспортной установки, оборудованной дополнительным верхним воздухоподводом.

В процессе строительства автомобильных дорог приходится перемещать огромное количество разнообразных сыпучих материалов. Для транспортирования кварцевых песков в технологических агрегатах может быть использован пневматический транспорт, как один из наиболее экономичных и экологически чистых способов перемещения хорошо сыпучих материалов. Однако вместо его традиционного исполнения с режимом движения отдельных частиц в полете во взвешенном состоянии предлагается применить режим перемещения сыпучего материала в структурированном виде.

Анализ последних исследований и публикаций

Широкая гамма конструктивных разновидностей и схем загрузочных устройств, принципов действия и инженерных расчетов представлена в работе [3]. Особенности механики движения сыпучих материалов в вибрационно-пневматических машинах эжекторного типа, рассмотренных в работе [4], позволили выявить их оптимальные параметры применительно к материалам горной промышленности. Вопросы совершенствования камерных питателей при работе с пылеугольными аэросмесями рассмотрены в работах [5-7].

Для пневмотранспортных установок, работающих при структурированных режимах движения аэросмеси [8,9], использование традиционных загрузочных устройств является проблематичным. Новые типы загрузочных устройств разработаны на основе интенсификации процессов истечения сыпучих материалов из выпускных отверстий объемной камеры. Последнее достига-

ется приданием хорошо сыпучим материалам гомогенной или гетерогенной структуры свойств сверхтекучести посредством воздействия непрерывных или пульсирующих воздушных струй [10-12]. При этом в качестве подготовительной операции представляется целесообразным осуществить местную интенсификацию истечения сыпучего материала его аэрированием в зоне выпускного отверстия загрузочного агрегата.

Анализ выполненных работ по созданию новых типов загрузочных устройств, предназначенных для использования в пневмотранспортных установках, работающих при структурированных режимах движения аэросмесей, показал, что процессы движения сыпучего материала в области его входа в пневмотранспортный трубопровод и формирования структуры режима аэросмеси до настоящего времени не рассматривался. Дальнейшему изучению подлежат особенности взаимодействия воздушных струй с частицами сыпучих материалов, их смешивания и формирования газоматериального потока.

Цель работы

Целью данной статьи является анализ процессов, протекающих на участке входа сыпучих материалов гомогенной и гетерогенной структуры в пневмотранспортный трубопровод струйным воздействием воздушных потоков, и выявление их основных характеристик, необходимых для определения технических параметров загрузочных устройств пневмотранспортных установок нового типа.

Основной раздел

Течение сыпучих материалов в зоне их выхода из бункера и входа в приемную часть пневмотранспортного трубопровода представляет определенный интерес, так как протекающие здесь процессы детерминируют дальнейшую работу пневмотранспортной установки. В целом, из широкой гаммы загрузочных устройств рассматривается движение сыпучих материалов на переходных участках формирования воздухоматериальных потоков для поступательного структурированного движения аэросмесей в пневмотранспортном трубопроводе.

На схеме течений и формирования потоков участка ввода материалов пневмотранспортных установок, работающих при структурированных режимах движения аэросмесей (рис.1), показаны зоны: X_0 – регулируемая длина; X_1 – участок расширения воздушной струи; X_2 – участок ввода аэрированного сыпучего материала в пневмотранспортный трубопровод; X_3 – участок формирования поступательно движущейся структуры.

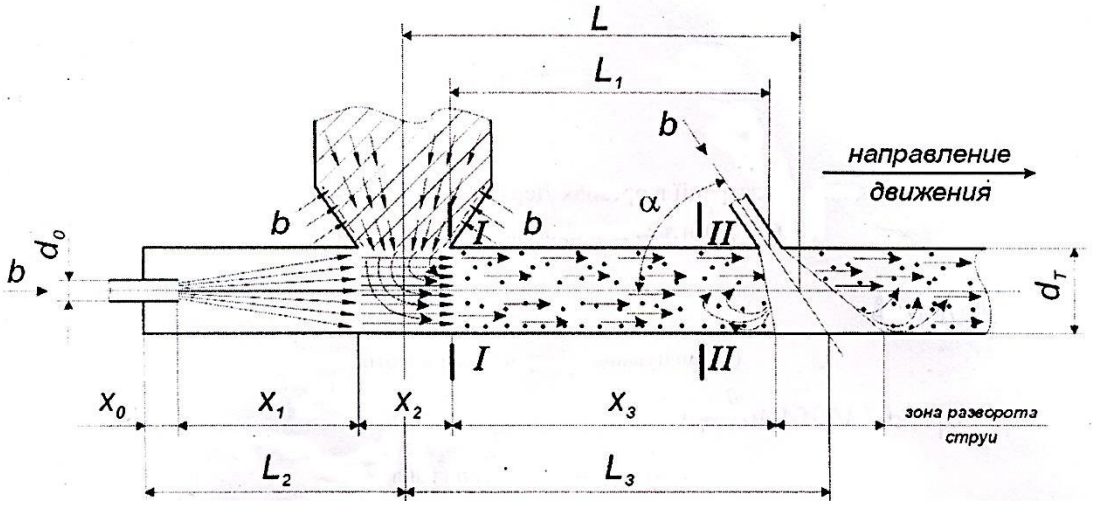


Рис. 1. Схема движения потоков на участке входа аэросмеси в пневмотранспортный трубопровод при поступательном движении (угол атаки – $0 < \alpha < 90^0$)

Общая картина течения представляется следующей. Подводимая воздушная струя на участке X_1 расширяется, достигая своих номинальных параметров. На участке X_1 наблюдается обычный процесс массообмена турбулентного ядра воздушного потока с пограничным слоем. При переходе из узкого канала в широкий пограничный слой разрастается в вихревую зону, которая стабилизируется при подходе к зоне входа сыпучего материала в трубопровод. Исследования показывают, что перестройка пограничного слоя и профиля скоростей происходит на пути $X_1 = (8…12)d_т$, (где $d_т$ – диаметр трубопровода).

Изменение и регулирование величины X_1 осуществляется изменением параметра X_0. Далее под действием сил тяжести и воздействием сформированной воздушной струи предварительно аэрированный сыпучий материал из выпускного отверстия бункера поступает в зону X_2, откуда проталкивается на участок X_3, где и происходит формирование дальнейшей движущейся структуры. Размером X_3 и углом атаки α дополнительной воздушной струи задается форма и длина структурированных объемов, движущихся в материалопроводе. На поступательно движущуюся аэросмесь на участке L_3 под углом атаки α воздействует дополнительно подводимая воздушная струя. Энергия этой струи разбивается на две составляющие. За положительное направление принято направление движения потока. Часть потока воздушной струи, действующая в отрицательном направлении, возбуждает передний фронт потока аэросмеси участка X_3, приводя его в вихревое состояние. Действующие в направлении движения силы могут быть представлены в виде двух составляющих. Вертикальная составляющая поддерживает частицы материала во взвешенном состоянии, а осевая – продвигает их в заданном направлении. Таким образом, формируется поток газоматериальных структур. Общей турбулизации потока способствует неравномерность распределения давлений в затопленной струе, соударяющейся с поверхностью экранирующей нижней стенки трубопровода.

Формирование потока газоматериальной смеси для вращательного режима движения (рис.2) в зоне X_3, имеет свои отличительные особенности. Возможны два случая воздействия дополнительной воздушной струи: $\alpha = 90^0$, $0 < \beta < 90^0$ и $\alpha < 90^0$, $0 < \beta < 90^0$. Рассматривается более простой первый случай, когда $\alpha = 90^0$. Как показали исследования, рабочие процессы осложняются влиянием «торцевого эффекта» и действием крупно- и мелкомасштабных когерентных вихревых структур.

Входящая под углом β воздушная струя (рис.3) на выходе из воздухоподводящего патрубка расширяется вдоль криволинейной части трубопровода и разделяется на две части: проточную, направленную по ходу движения потока, и обратную, направленную к загрузочному патрубку.

В пристеночной области струи за патрубком вдоль поверхности трубопровода начинают формироваться вихри. По мере удаления от входного воздухопроводного патрубка контуры вихревой зоны приобретают спиралевидную форму. Неограниченная сторона струи взаимодействует с внутренними кольцевыми структурами, вращающимися в одном направлении с входной струей. Впускная струя, обладая определенным энергетическим потенциалом и заданной степенью закрутки, детерминирует развитие процессов в обоих направлениях относительно оси входа струи в трубопровод.

В зоне X_3 (см. рис. 2) направленная в сторону разгрузочного патрубка составляющая воздушной струи сталкивается с движущейся в направлении проточной части газоматериальной смесью. «Зона-плоскость» столкновения линейно движущейся и этой составляющей как бы формирует «торцевую» зону (плоскость). Возникает явление «торцевого эффекта», и, как следствие, в срединной части (по оси трубопровода) наблюдается эффект торцевого подтягивания движущегося газоматериального потока. В общем случае процесс интенсифицируется. Аэродинамика и параметры формирующихся структур зависят от геометрических параметров X_2, X_3, l, d_0, $d_т$, α, β, энергетики дополнительно подводимой воздушной струи и физико-механических свойств объекта транспортирования.

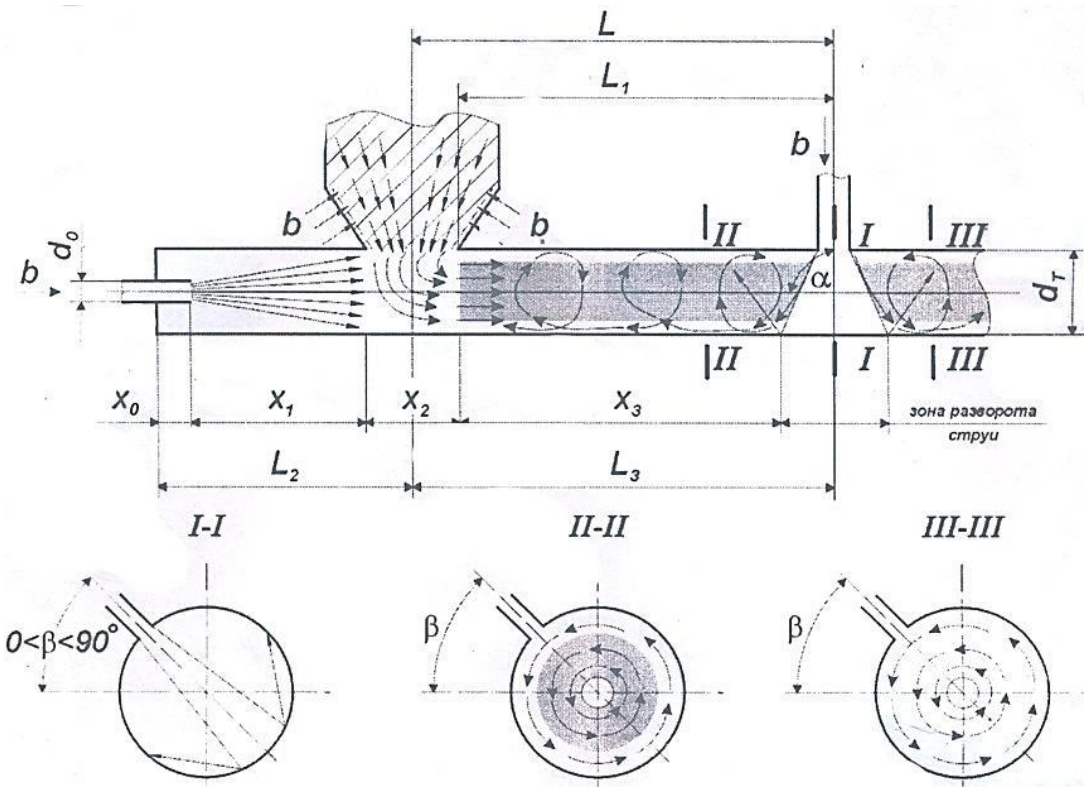


Рис.2. Схема движения потоков на участке входа аэросмеси в трубопровод при переходе поступательного движения аэросмеси во вращательное (угол атаки: $\alpha = 90^0$, $0<\beta<90^0$)

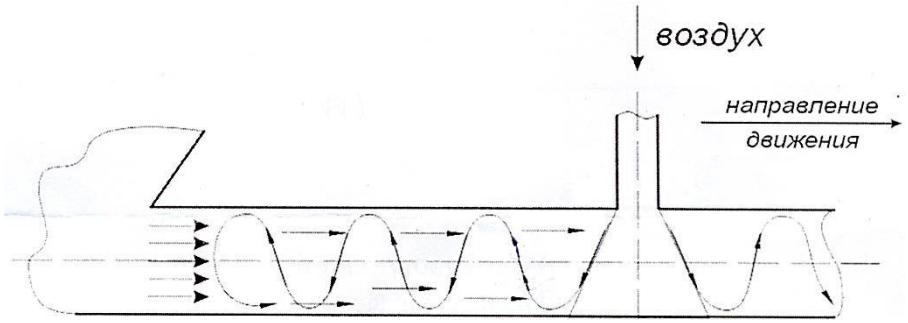


Рис. 3. Схема формирования «торцевого эффекта» на участке X_3

Вращательное движение газоматериальной смеси формируется воздействием дополнительных воздушных струй, истекающих из сопел-побудителей. Анализ показывает, что в потоках газоматериальной смеси с высокой скоростью закрутки градиент скорости по поперченному сечению трубопровода имеет определенную особенность: максимум скорости по оси трубопровода, область с градиентом, близким к нулю, и область с отрицательным градиентом скорости. Соответственно в спирально-вихревом режиме движения газоматериальной смеси сыпучий материал по поперечному сечению трубопровода распределяется неравномерно. Немаловажен тот факт, что спиралевидный поток в проточной части трубопровода и на участке X_3 в какой-то степени уменьшает контакт твердой компоненты с внутренней поверхностью трубопровода, что снижает процессы изнашивания последнего.

Исследование течений аэросмесей на участке их входа в пневмотранспортный трубопровод показали, что сформированная на начальном участке (X_3) структура задает дальнейший режим движения аэросмеси. Загрузочные устройства с порционным или волновым режимами движе-

ния аэросмесей необходимо выполнять по первой схеме, со спирально-вращательным движением – по второй.

Квазипотенциальный поток вихревого элемента в сечении трубопровода обладает скоростью U, плотностью ρ и давлением P (рис.4). Компоненты скорости по осям цилиндрических координат – $U_г$, U_z, $U_п$. Основные характеристики вихревого элемента могут быть определены из уравнения быстрых движений для элементарного объема, прилегающего к внутренней грани потока, и записаны в виде [13]:

$$\frac{\mathrm{dU}_г}{\mathrm{dt}} = \frac{2U_п\varepsilon}{r} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial r}, \tag{1}$$

где ε – коэффициент интенсивности пульсаций.

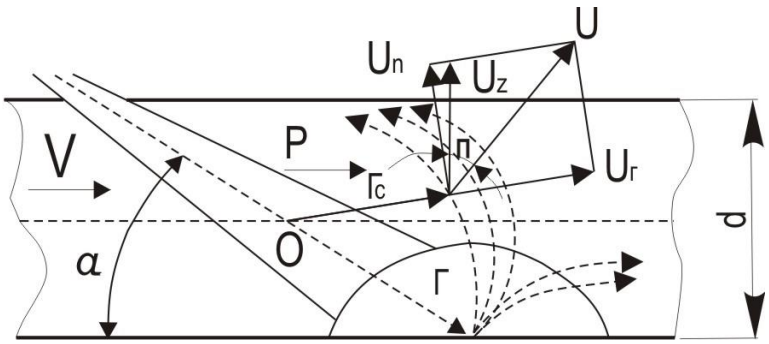


Рис. 4. Схема вихрей в зоне дополнительного подвода воздушного потока

Радиальный градиент давления

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial p}{\partial p}\frac{\partial p}{\partial r} = C^2\frac{\partial p}{\partial r}, \tag{2}$$

где C – скорость звука.

Учитывая закон сохранения массы (уравнение неразрывности) элементарного объема $\rho\Delta V = const$,

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\frac{\rho}{\Delta \mathrm{V}}\frac{\partial \Delta V}{\partial r}k, \tag{3}$$

где ΔV – элемент объема,

k – коэффициент деформации:

$$\Delta \mathrm{V} = \frac{1}{2}(r^2 - r^2)dzdn. \tag{4}$$

После подстановки уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{\mathrm{dU}}{\mathrm{dt}} = 2\left(\frac{U^2{}_n\varepsilon}{r} - \frac{a^2\mathrm{rk}}{r^2{}_c - r^2}\right). \tag{5}$$

Равновесие внутренних границ потока является устойчивым, что подтверждается возможностью реализации движения газоматериального потока в заданном структурированном режи-

ме. Попадая под воздействие воздушного потока, частицы сыпучего материала совершают пульсационное движение относительно несущего их вихря, рассматриваемое в пределах одного случайно взятого периода пульсаций, в течение которых вектор пульсационной скорости несущего вихря беспорядочно меняет свое направление, частоту и амплитуду в соответствии со статистическими законами турбулентности [14].

Рассматривается пульсационное движение, совершаемое частицей в течение одного периода пульсации воздуха. Изменение пульсационной скорости воздуха во времени представлено моногармонической функцией. В этом случае продольная (u_g), поперечная (v_g) и касательная (w_g) составляющие скорости газа описываются выражениями:

$$u_g = \bar{u}_g + U\sin\omega t,\ v_g = V\sin\omega t,\ \ w_g = W\sin\omega t\ , \tag{6}$$

где ω – лагранжева частота пульсаций.

Два последних выражения представляют частный случай первого, так как v=w=0, поэтому достаточно рассмотреть движение частицы, совершаемое под влиянием скорости движения среды, определяемой лишь первым выражением.

Рассматривая движение отдельно взятой частицы в воздушном вихре, можно ограничиться теми же силами, что и в вязкой ламинарной среде. В этом случае уравнение движения частицы размером δ имеет вид:

$$\frac{du}{dt} + \beta u = \beta\left(\bar{u}_g + U\sin\varpi t\right), \tag{7}$$

где $\beta = 18\mu/\rho\delta^2 = 1/\tau$ – фактор инерционности частицы, называемый иногда «постоянной времени»;

μ – динамическая вязкость воздуха;

τ – время релаксации частиц, определяемое для тонкодисперсных частиц выражением $\rho\delta^2/18\mu$;

U – продольная скорость обтекания вихря.

Общим решением уравнения при $u_0 = 0$ является:

$$u = \frac{U\sin(\omega t - \phi)}{\sqrt{1+\omega^2\tau^2}} + \frac{\omega\tau U}{1+\omega^2\tau^2}e^{-t/\tau} + \bar{u}_g\left(1 - e^{-t/\tau}\right) \tag{8}$$

Численное значение u позволяет определить время взаимодействия вихря и частицы. Если время взаимодействия больше времени релаксации частицы, то частица будет захвачена вихрем. Время взаимодействия зависит как от скорости частицы, так и от размеров вихря.

Зависимость поперечного смещения L_{V0} оси вихря (амплитуд его поперечных колебаний, вызываемых знакопеременностью пульсации скорости и силы Жуковского) от относительной величины квадрата поперечной скорости равна:

$$\frac{L_{v0}}{\Delta_c} = \frac{V^2}{2A_0U^2}\,. \tag{9}$$

Относительное поперечное перемещение вихря вызывает силу, направленную по потоку (или против потока) и приводящую к продольным перемещениям вихря:

$$P_x = \rho_g V / \Gamma / , \tag{10}$$

где $/\Gamma/ = \pi r_0^2 UA_0/\Delta_c$ – циркуляция вихря,

$$P_x \Delta t_u = mU, \ \Delta t_u = 2L_{u0}/U .$$

Из уравнения (10) следует:

$$U = 2L_{u0} VA_0/\Delta_c .$$

Откуда

$$\frac{L_{u0}}{\Delta_c} = \frac{U}{2A_0 V} .$$

Время перемещения вихря в поперечном и продольном направлениях одно и то же ($\Delta t_V = \Delta t_u$). Равенство отношения путей пробега вихря кубу отношения соответствующих компонент относительной скорости, которое можно считать равным отношению амплитуд пульсационной скорости:

$$\frac{L_{v0}}{L_{u0}} = \frac{V^3}{U^3} . \tag{11}$$

Подставляя отношение компонент скорости, получаем для перемещений (путей пробега) вихря следующие значения:

$$\frac{L_{v0}}{\Delta_c} = \frac{0{,}325}{A_0}, \quad \frac{L_{u0}}{\Delta_c} = \frac{0{,}625}{A_0} . \tag{12}$$

При $A_0 = 2$ (для слоя смешения) $L_{v0} = 0{,}16\delta$, $L_{u0} = 0{,}31\delta$ [14].

Так как толщина зоны смешения в начальном участке струи, согласно опытным данным [14], равна:

$$\Delta_c = 0{,}27x$$

$$\frac{L_{v0}}{x} = \frac{0{,}09}{A_0}, \quad \frac{L_{u0}}{x} = \frac{0{,}17}{A_0} . \tag{13}$$

Зная размах поперечных перемещений вихря и толщину зоны смешения, можно оценить величину радиуса вихря. Поперечное сечение потока заполнено тремя его составными частями: толщиной вихря $2r_0$, двойным путем поперечного перемещения вихря $2L_{V0}$ и толщей потока, обтекающего вихрь, Δу.

$$\Delta_c = 2r_0 + 2L_{v0} .$$

Поэтому возможная относительная величина радиуса вихря составляет при $A_0 = 2$:

$$k = r_0 / \Delta_c = 0{,}17 .$$

Величина радиуса вихря при турбулентной пульсации равна: $r_0 = 0,22\Delta_c$.

Выводы

Результаты исследования показали:

1. Улучшение технических параметров загрузочных устройств, предназначенных для работы в пневмотранспортных установках со структурированными режимами движения аэросмесей, может быть осуществлено воздействием дополнительных воздушных струй на аэросмесь в зоне формирования воздухоматериального потока.

2. Под воздействием дополнительных воздушных струй в материалопроводе формируется воздухоматериальный поток когерентных структур, характеризуемый параметрами турбулентности.

3. Оценка характеристики вихревых структур позволяет определить основные технические параметры дополнительных воздухоподводящих патрубков, обеспечивающих формирование и стабильность движения структурированных режимов движения аэросмесей.

Список литературы

1. Гущин В.М. Новые пневмотранспортные установки для перемещения сыпучих материалов / В.М. Гущин // Зб. наук. пр. «Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини» - К.: Вип. 55. – С. 70-73.

2. Гущин В.М. Управление и интенсификация процессов пневматического транспортирования сыпучих материалов струйным воздействием воздушного потока / В.М. Гущин, О.В. Гущин // Теорія і практика будівництва. – 2009. – № 5. – С.6-15.

3. Гущин В.М. Разработка новых типов загрузочных устройств для пневмотранспорта сыпучих материалов / Гущин В.М. // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 1999. – С. 325-330.

4. Потураев В.Н. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа: (монография) / В.Н. Потураев, В.И. Волошин, С.Н. Пономаренко, А.А. Волошин. – К.: Наук. думка, 2001. – 176с.

5. Орлов В.С. Влияние объемной концентрации газа в парах порошкообразных материалов на производительность пневмотранспортирования сложным потоком / В.С. Орлов // Вісник Східноукраїнського університету ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ, 2008. – № 3 (121). – С. 260-264.

6. Чальцев М.Н. Разгрузочные характеристики малогабаритного камерного питателя / М.Н. Чальцев // Вестник НТУ ХПИ: «Динамика и прочность машин». – 2004. – № 20. – С. 133-144.

7. Чальцев М.Н. Математическая модель вихревого инжектора / М.Н. Чальцев, С.В. Войцеховский // Научные труды Донецкого государственного технического университета. – Донецк, ДонНТУ, 2001. Вып. 36. – С. 204-209.

8. Гущин О.В. Экспериментальные исследования массопереноса пневмотранспортной установкой с порционным движением сыпучих материалов / О.В. Гущин // Наук. вісн. будівництва. – Харків: ХДТУБА-ХОТВАБУ, 2000. – С. 254-260.

9. Гущин В.М. Нова концепція та її реалізація в розробках високоефективних засобів пневматичного транспортування сипучих матеріалів / В.М. Гущин // Машинознавство. – 2000. – № 2 (23). – С. 39-43.

10. Патент України № 27571. МПК 65G/00. Живильний пристрій для пневмотранспорту сипких матеріалів / В.М. Гущин, В.Й. Сівко, О.В. Гущин, А.М. Українець. Власник: ДДМА. Заяв. 31.05.2007. Опубл. 12.11.2007. Бюл. № 11.

11. Патент України № 54287. МПК B65G/00. Живильний пристрій для пневмотранспорту сипких матеріалів / В.М. Гущин, Р.І. Рибалко, О.В. Гущин, Е.С. Виноградов, М.М. Ковальчук. Власники: В.М. Гущин, Р.І. Рибалко, О.В. Гущин, Е.С. Виноградов, М.М. Ковальчук. Заяв. 09.03.2010. Опубл. 10.11.2010. Бюл. № 11.

12. Патент України № 85975. МПК B65G/04, B65G53/52. Живильний пристрій для пневмотранспорту сипких матеріалів / В.М. Гущин, О.В. Гущин, Р.І. Рибалко, О.О. Передереєв. Власники:

В.М. Гущин, О.В. Гущин, Р.І. Рибалко, О.О. Передереєв. Заяв. 31.05.2013. Опубл. 10.12.2013. Бюл. № 23.

13. Карышев Ю.Д. Дифференциальные уравнения раздельных движений закрученного потока газа / Ю.Д. Карышев // В кн. Динамика систем, механизмов и машин. – Омск: ОмГТУ, 1995. – Кн № 1. – С. 86-92.

14. Брэдшоу П. Турбулентность / под. ред. П. Брэдшоу. – М.: Машиностроение, 1980. – 344 с.

Гущин О.В. Аналіз течії сипких матеріалів на ділянці завантаження в пневмотранспортний трубопровід агрегату з виготовлення сумішей для автомобільних доріг

Анотація. *У статті розглянуто результати аналітичних досліджень умов формування структурованих аеросумішей на ділянці завантаження сипкого матеріалу у пневмотранспортний трубопровід. Показано особливості течії аеросумішей при верхньому підводі допоміжного повітряного струменю. На основі рівняння швидких рухів для елементарного об'єму розглядається стійкість рівноваги межі повітря матеріального потоку. Відповідно до законів турбулентності визначено основні характеристики вихорів, що виникають при пульсаційному русі. Результати досліджень свідчать про перспективність використання дії повітряних струменів на сипкий матеріал при розробці новітніх типів завантажувальних пристроїв для пневмотранспортних установок, що працюють при структурованих режимах течії аеросуміші.*

Ключові слова: *пневматичний транспорт, завантажувальний пристрій, повітряний струмінь, сипкий матеріал*

Guschin O.V. The analysis of bulk materials flow on the site of download in the pneumatic pipeline for the production of mixtures for roads

Annotation. *The article describes the results of analytical studies of conditions of formation of structured aeromixture in the area of bulk material loading in the pneumatic pipeline. The features of the current aeromixture at the top supply more air flow. On the basis of the fast movements of the elementary volume is considered stable equilibrium border air-material flow. The main characteristics of vortices arising at pulsating motion in accordance with the laws of turbulence. The research results show the availability of the action of the air jets on the bulk material in the development of new types of loading devices for pneumatic conveying systems operating under framed mode aeromixture flow.*

Keywords: *pneumatic transport, a charging device, an air stream, the bulk material.*

Стаття надійшла до редакції 05.05.2015 р.

УДК 625.7:658.14/.17

ГУБА К.Р., ШИЛИН И.В., к.т.н., доцент,
Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка;
ГРИЦУК Ю.В., к.т.н., доцент,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка

АНАЛИЗ СИТУАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье обосновано строгое соблюдение нормативных требований к проведению необходимых работ в полном объеме по сбору и обработке данных технического состояния автомобильной дороги и ситуации на ней. Приведен анализ существующих технологий проведения натурных изысканий, и рассмотрены основные программные продукты, присутствующие в дорожной сфере.
Ключевые слова: *автомобильная дорога, технический учет, техническая диагностика, техническая инвентаризация, мобильное лазерное сканирование, техническое состояние автомобильной дороги*

Постановка проблемы

Эффективное проведение плановых ремонтных работ по содержанию автомобильных дорог (поддержание технического состояния автомобильных дорог в соответствии с нормативными требованиями) невозможно без соответствующих мероприятий во время эксплуатации транспортных магистралей [1,2]. Определение необходимых (достаточных) объемов ремонтно-восстановительных работ, выбор технологии и организации выполнения работ, разработка проектной документации будут оптимальными и целесообразными только при наличии исчерпывающей и достоверной информации о конструктивных решениях, заложенных на стадии производства; о технологических особенностях конструкции и организационных способах выполнения работ; об условиях эксплуатации объектов; о видах и способах выполнения ремонтно-восстановительных работ (если они имели место) и т.д.

Это возможно только при проведении определенных специализированных работ и при отражении их в соответствующих документах. В настоящее время в дорожных организациях (ремонтных и обслуживающих) в неполном объеме присутствуют Технические паспорта автомобильной дороги/городской улицы и статистическая отчетность за календарный период. Действующие ведомственные нормы обязывают иметь Электронный паспорт автомобильной дороги (ЭПАД), который в обязательном порядке должен обновляться ежегодно, а в случае выполнения каких-либо работ – по мере их выполнения. Не обращая внимания на наполняемость паспортов и достоверность присутствующей информации, следует отметить неполноту охвата всей сети автомобильных дорог/городских улиц, а при ее наличии – несоответствие приведенной информации реальным (фактическим) значениям.

Система выполнения плановых ремонтов автомобильных дорог в последнее время отошла на второй план (по объективным и субъективным причинам), уступив приоритет авральным ремонтным работам на аварийных участках. Перед выполнением ремонтно-восстановительных работ ограничиваются только составлением дефектного акта, на основании которого выполняется расчет объемов ремонтных работ и потребность в дорожно-строительных материалах и конструкциях. Такая практика приводит к ситуации, когда не выявлена причина возникновения отказа, а значит, оптимальность выбора технологии восстановительных работ может быть под вопросом (очень часто причина возникновения деформации верхних слоев дорожной конструкции заключается в проблемах в нижележащих конструкциях дорожной одежды или даже в активной зоне земляного полотна). Не устранив причину возникновения деформаций, приходится

бесконечно бороться с последствиями. Плановые регулярные наблюдения за состоянием дороги, как показывает практика, существенно повышает надежность инженерного сооружения и безопасность дорожного движения.

Таким образом, возобновление (создание) системы содержания автомобильных дорог (технический учет, диагностика технического состояния, техническая инвентаризация) с использованием современных технических средств и программного обеспечения является актуальной задачей для государства.

Цель статьи

Целью данной работы является анализ существующих подходов к содержанию автомобильных дорог с целью обоснования и адаптации к сложившимся (исторически и экономически) условиям концепции планового регулярного технического учета, диагностики технического состояния и технической инвентаризации сети автомобильных дорог общего пользования и муниципальных улиц с созданием в результате единой государственной базы линейных транспортных коммуникаций.

Основной раздел

Следует отметить, что в Украине, в соответствии с Постановлением КМУ от 23 мая 2011 года №554, Министерством регионального развития, строительства и жилищно-коммунального строительства введена обязательная аттестация ведущих специалистов (экспертов технического надзора, экспертов технического обследования, экспертов технической инвентаризации) соответствующими Аттестационными комиссиями в установленном порядке, приняты нормативные акты, регулирующие взаимоотношения в сфере технической экспертизы и технического обследования инженерных сооружений, а также технического надзора над процессом строительства [3-5]. Это положение охватывает все отрасли строительства, включая и автодорожное строительство. Но ведомственными нормами было приостановлено обязательное привлечение специалистов с сертификатами установленного образца при проведении технического обследования, диагностики и технической инвентаризации на объектах автодорожной инфраструктуры. Таким образом, на сферу дорожного хозяйства не только не распространяются нормативные акты по экспертизе технического состояния зданий и сооружений, но и использование существующих и нормативно подтвержденных методик сильно ограничено.

Все это никак не способствует повышению качества проведения вышеперечисленных работ [6,7], а также снижает инвестиционную привлекательность для развития технической базы по техническому учету, диагностике технического состояния автомобильных дорог и технической инвентаризации объектов дорожного хозяйства.

Актуальная версия ЭПАД (единственная нормативно подтвержденная), действующая на территории Украины [8], практически полностью использует наработки применявшейся ранее методики паспортизации автомобильных дорог, разработанной в СССР и принятой в 1983г. [9,10,11] с незначительными дополнениями из области технической инвентаризации транспортных сооружений.

При эксплуатации данного программного продукта, наряду с безоговорочным преимуществом по сравнению с бумажным аналогом [12], получили «консервативную» базу со скромным набором функций и практически не способную адаптироваться под современные автоматизированные средства сбора информации и внедряться в более глобальные (как по территориальному охвату, так и по специализации) программные комплексы.

Данный программный комплекс практически не учитывает вопросы диагностики технического состояния автомобильных дорог. В связи с этим эксплуатирующие организации вынужде-

ны кроме программного комплекса использовать вспомогательные, а иногда и альтернативные программные комплексы, бумажные аналоги и т.д., что значительно снижает привлекательность данного продукта.

В результате получили базу, имеющую ограниченный функционал и практически не способную адаптироваться к изменившимся условиям. Программа устарела морально и физически, возможно, конечно, предположить, что в следующих версиях будет и существенный прогресс, но анализ ситуации уже сейчас показывает наличие большого количества программных продуктов зарубежных разработчиков гораздо более высокого уровня.

Анализ программных продуктов европейских, американских или японских разработчиков не выявил отдельно разработанных программ (баз) по техническому учету, диагностике и инвентаризации. Данные аспекты являются элементарными аспектами (первичный уровень разработчика) геоинформационных систем (ГИС) ведомственного или общего назначения. А это более высокий уровень обеспечения производства, следовательно, и более капиталоемкий. Поэтому на данном этапе развития дорожного хозяйства Украины это скорее перспективная политика, а не руководство к действию.

Гораздо привлекательнее (как переходной вариант), на наш взгляд, использовать опыт и наработки коллег-исполнителей из СНГ (с точки зрения полноты и достоверности информации, удобства и простоты использования, трудоемкости создания и сопровождения, капиталоемкости). Есть интересные наработки у дорожников из Беларуси и у их коллег из Российской Федерации. Все они ориентированы на создание единой государственной системы (создание ГИС-систем), но на данном этапе идет формирование (создание) региональных (территориальных) баз с использованием систем автоматизированного проектирования и других программных продуктов, позволяющих впоследствии легко интегрироваться в глобальные системы (концепция создания комплексной территориальной государственной информационной системы России). Причем следует отметить, что используются программные продукты как ведущих зарубежных разработчиков (включая и индивидуально-разработанные на заказ), так и отечественных разработчиков. Это стало возможным после разрешения государственным органам использовать любые программные продукты при условии прохождения ими соответствующей регистрации и поддержания определенного стандарта информации.

Анализ ситуации показывает, что доля использования разработок российских и белорусских разработчиков с каждым годом стремительно возрастает. Причем это не вынужденный переход пользователей из-за административного прессинга, а значительный прогресс в качестве разработок, использование новейших разработок и своевременный учет новинок и тенденций в строительстве (в дорожном в частности).

Таким образом, на российском рынке присутствуют и на некоторых предприятиях активно используются порядка десяти программных продуктов, которые значительно улучшают как ситуацию в дорожном хозяйстве в целом, так и в части содержания сети автомобильных дорог в отдельности.

В качестве примера успешных российских программных разработчиков можно привести следующих:

● общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственная фирма "Топоматик"» (программный продукт Топоматик Robur) создано в 2003 году для осуществления следующих видов деятельности: разработка и сопровождение программных продуктов для автоматизации проектных работ в области гражданского, промышленного и транспортного строительства; обучение специалистов строительных и проектных организаций работе с программными продуктами «Топоматик»; оказание консультационных услуг по использованию программных продуктов «Топоматик» и программных продуктов, разработанных другими фирмами. Разрабо-

тчик уже длительное время уверенно держится на программном рынке России и программные продукты пользуются заслуженным вниманием;

● «Управление геоинформационных технологий» Ивановского Государственного Энергетического Университета (программный комплекс Scale Objects) с успехом зарекомендовало себя на рынке в качестве разработчика инструментальных программных средств ГИС, создания распределенных ГИС и информационных систем кадастрового учета в сети Интернет, применения ГИС-технологий в управлении территориально распределенными техническими системами;

● компания ООО «ИндорСофт» (программное обеспечение IndorCAD в различных модификациях) на российском рынке геоинформационных технологий (ГИС) и систем автоматизированного проектирования (САПР) зарекомендовала себя гибким и динамично развивающимся разработчиком. Программные продукты находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства;

● и другие.

Особо следует отметить гибкость программных продуктов вышеперечисленных разработчиков. Она проявляется не только в процессе пользования программными продуктами, но и позволяет в автоматическом режиме получать исходные данные практически с любых известных технических средств сбора и получения информации, выводить результаты работы практически в любом удобном исполнителю виде и с легкостью интегрироваться в программные продукты высшего уровня (глобальные) практически всех известных мировых разработчиков ГИС-систем.

Но наличие даже самого современного программного комплекса позволит только ускорить обработку (разработку) проектов и повысить удобство работы, но достоверность, актуальность и полнота входной информации напрямую зависит от качества сбора и первичной обработки данных и, конечно, от периодичности обследования.

На сегодняшний день применяются три основные технологии (с незначительными отличиями, связанными с техническими средствами получения и обработкой данных) при сборе данных на автомобильных дороге:

– наземные изыскания (натурные обследования, тахеометрическая съемка, оптическая цифровая съемка, использование GPS-оборудования и т.д.);

– воздушные изыскания (аэрофотосъемка, использование беспилотных летательных аппаратов, и т.д.);

– лазерное сканирование (3-D и 2-D сканирование инженерных объектов и сооружений).

Анализ вышеперечисленных вариантов получения и обработки данных на автомобильной дороге показывает значительное преимущество лазерного сканирования (рис. 1) с точки зрения точности, производительности и минимизации затрат. Технология мобильного лазерного сканирования объединила в себе скорость получения и объемы данных от воздушного сканирования, а точность и детальность – от наземного сканирования.

Производительность при выполнении работ будет следующая:

● при изысканиях для паспортизации – до 300 км за день полевых работ одной лаборатории;

● при изысканиях для ГИС – до 200 км за день полевых работ одной лаборатории и бригады геодезического обеспечения;

● при изысканиях для проектирования ремонтов – до 50 км за день полевых работ одной лаборатории и бригады геодезического обеспечения.

Лазерное сканирование – инновационная технология, позволяющая измерить, спрогнозировать или своевременно предотвратить искривление линейных объектов и сооружений. Современное оборудование и программное обеспечение позволяет не только произвести точные измерения искривлений дорожного полотна, провисания проводов, но и представить их в трехме-

рной модели. Поэтому лазерное сканирование успешно применяется в процессе реконструкции и модернизации: полученное при сканировании существующих объектов облако точек совмещается с трехмерной моделью проектируемых или модернизируемых частей. При этом выявляются коллизии (пересечения) существующих стен, фундаментов, коммуникаций с проектируемыми, выявляется необходимость прокладки новых коммуникаций и модернизации существующих.

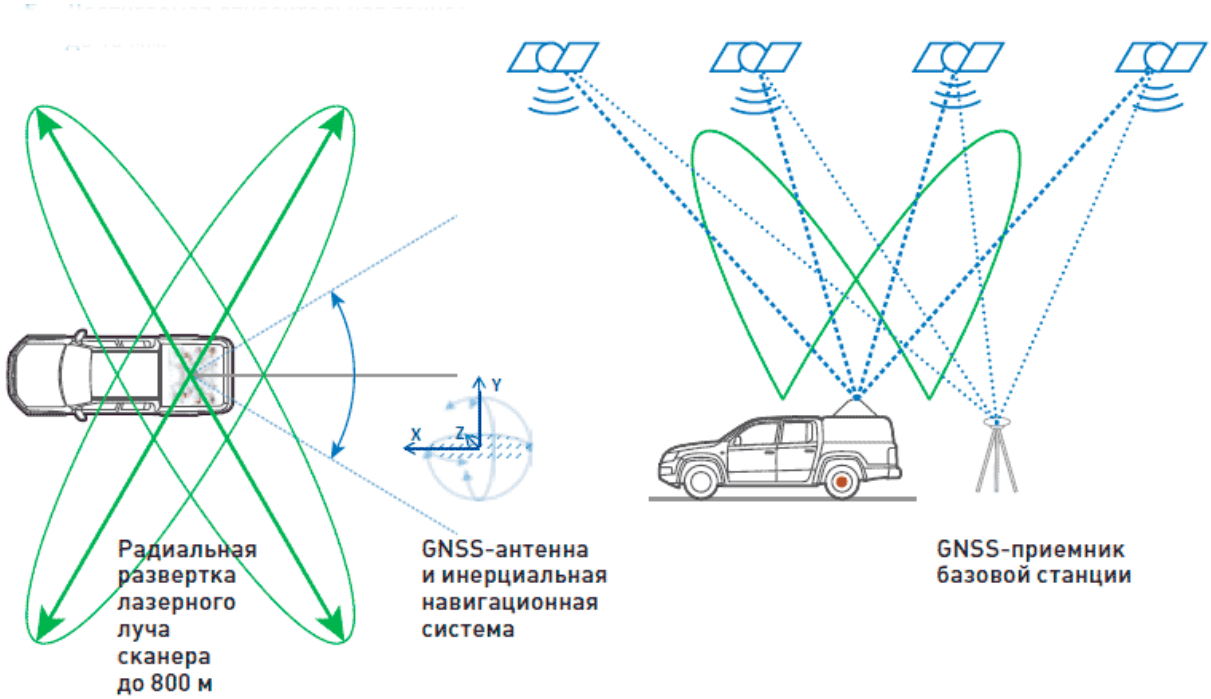


Рис.1. Принципиальная схема работы мобильного лазерного сканирования (2-D сканирование)

Мобильное лазерное сканирование (2-D сканирование) – технология получения высокоточных трехмерных пространственных данных объектов лазерными сканерами в движении с использованием различных наземных транспортных средств. Мобильная сканирующая система может монтироваться на автомобилях, судах, железнодорожных платформах и других транспортных средствах. Сканирование производится вдоль траектории движения, на расстояние до нескольких сотен метров во всех направлениях. Для повышения точности съемки необходимо выставление дополнительных базовых станций (GPS-приемники) по длине обследуемого участка автомобильной дороги (рис. 2).

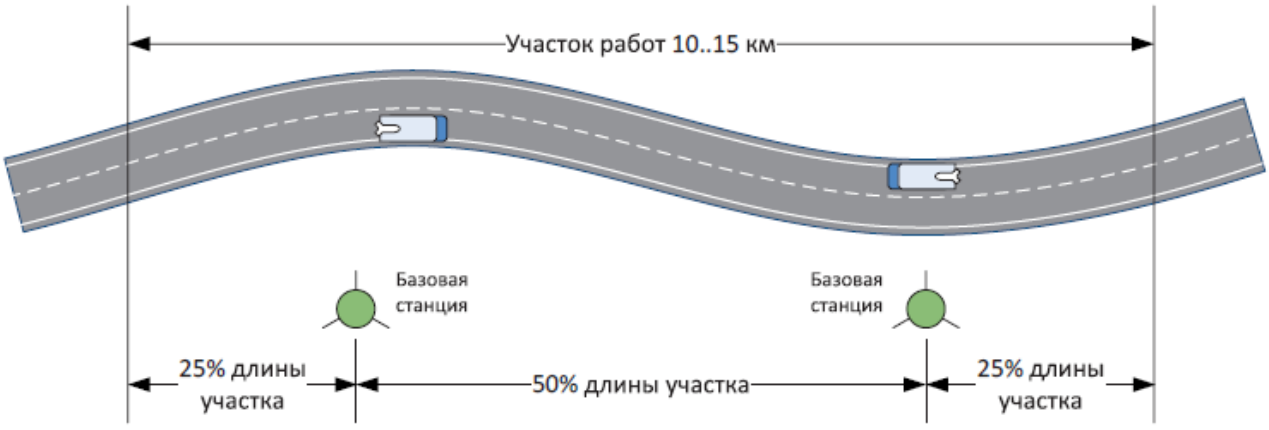


Рис.2. Расположение базовых станций в районе выполнения мобильного лазерного сканирования автомобильной дороги

По данным ООО «Геопроектизыскания» (Россия), при определении объемов ремонтных ямочных работ результаты лазерного сканирования и классических исследований различаются примерно в два раза (при тахеометрической съемке площадь ям составила 40330,3м^2 и объем – 2016,52м^3, а при мобильном лазерном сканировании – площадь повреждений – 40330,3м^2 и объем – 1203,91м^3).

Вывод

Для обеспечения безотказной работы сети автомобильных дорог в данной работе обоснована необходимость обязательного выполнения в полном объеме изысканий по техническому учету, технической диагностике и технической инвентаризации. Для сбора и первичной обработки исходных данных показана целесообразность использования технологии мобильного лазерного сканирования на автомобильных дорогах. А также сформулирована необходимость использования современного программного обеспечения для создания украинского аналога Комплексной территориальной государственной информационной системы.

Список литературы

1. П-Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. – К: Укравтодор, 2009. – 88 с.

2. ГБН Г.1-218-182:2011 Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи Ремонт автомобільних доріг загального користування. Види ремонтів та перелік робіт. [чинні з 01,12,11]. – К: Укравтодор, 2011. – 17 с. (галузеві будівельні норми України).

3. СТТУ БС 01-03 Обстеження і оцінка технічного стану будівель та споруд. Організація і виконання робіт. Стандарт асоціації незалежних експертів України „УКРЕКСПЕРТ". [чинний з 17 листопада 2003 р..№ 103]. – К: Держнаглядохоронпраці України, 2003. – 11 с.

4. Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд (зареєстровано Міністерством юстиції України 06.07.1998р. за №424/2864).

5. Положення про спеціалізовані організації з проведення обстежень та паспортизації існуючих будівель і споруд з метою забезпечення їх надійності й безпечної експлуатації (зареєстровано Міністерством юстиції України 06.07.1998р. за №424/2864).

6. ВСН 1-83 Типовая инструкция по техническому учету и паспортизации автомобильных дорог общего пользования. – М: Минавтодор РСФСР, 2000. – 50 с.

7. ВСН 6-90 Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. – М: Минавтодор РСФСР, 1990. – 73 с.

8. Інструкція з паспортизації автомобільних доріг (з використанням електронного паспорта автомобільних доріг «ЕПАД»). – К., 2002. – 64 с.

9. ІН 218 УССР 012-83 Інструкція по технічному обліку та паспортизації автомобільних доріг загального користування Української РСР.

10. ІН В.3.2-218-03449261.036-96 Інструкція по організації догляду за штучними спорудами.

11. СОУ 45.2-00018112 - 038 : 2008 Паспорт автомобільної дороги. – К: Укравтодор, 2008. – 75с.

Губа К.Р., Шилін І.В., Грицук Ю.В. Аналіз ситуації отримання та обробки даних технічного стану мережі автомобільних доріг

Анотація: *В статті обґрунтовано чітке дотримання нормативних вимог до виконання необхідних робіт в повному обсязі щодо отримання та обробки даних технічного стану автомобільної дороги та ситуації на ній. Наведено аналіз існуючих технологій виконання натурних пошуків, та розглянуті основні програмні продукти, які присутні в дорожній галузі.*

Ключові слова: *автомобільна дорога, технічний облік, технічна діагностика, технічна інвентаризація, мобільне лазерне сканування, технічний стан автомобільної дороги*

Guba K.R., Shilin I.V., Gritsuk Yu.V. The analysis of situation of receiving and processing the data of technical state of road network

Abstract: *In the article the strict abidance of implement requirements of performing the necessary works in the whole on receiving and processing of data of technical state of highway and the situation on it are described. The analysis of existing technologies of performing the natural researches is done. The basic software products in the road sector are represented.*

Keywords: *road, technical accounting, technical diagnostics, technical inventory, mobile laser scanning, the technical condition of road*

Стаття надійшла до редакції 27.05.2015 р.

УДК 693.52

РЫБАЛКО Р.И., к.т.н., доцент,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ДВУХСТАДИЙНОМ СЕПАРАТОРЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МАШИНАМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рассмотрены процессы, протекающие в первой ступени воздушного сепаратора, с позиций турбулентных структур двухфазной среды. Дана оценка величины пульсационной составляющей скорости частицы в газоматериальном потоке через характеристики струи воздуха. Показано, что поперечная составляющая скорости движения частицы, определеяет геометрические размеры рабочих каналов. Доказано, что, регламентируя поперечную составляющую скорости движения частицы, можно управлять параметрами турбулентных струтур воздушного потока. В качестве технического решения по управлению воздушными турбулентными структурами использована решетка разделения.
Ключевые слова: *сыпучие материалы, классификация, сепаратор, воздушный поток, турбулентная струя, характеристики турбулентной струи*

Постановка проблемы

При строительстве автомобильных дорог используется огромное количество различных насыпных материалов, которые подвергаются операции измельчения и сепарации. О серьезности этой проблемы можно судить по объемам материальных средств, затрачиваемых на рассматриваемые операции. Так, в дорожной отрасли на это используется около 20 % всей электроэнергии, причем основная ее часть расходуется в виде тепла. В настоящее время сортировка осуществляется устройствами и машинами разной конструкции, применяемыми при помоле в замкнутом цикле и объединении помола с сушкой. На сегодняшний день не создано машины, обеспечивающей дробление материала с заданными размерами. Это приводит к образованию переизмельченного продукта, что не позволяет достичь заданной тонкости помола. А одним из эффективных способов повышения тонкости помола и, соответственно, снижения энергозатрат, является своевременное удаление готового продукта из помольного агрегата [1].

Анализ последних исследований и публикаций

Существующие способы сепарации измельчаемого материала, как известно, обладают высокой энергоемкостью, малыми сроками службы, недостаточной сепарирующей способностью, нарушением процесса сепарации при повышенной влажности, выдачей грубых продуктов с высоким содержанием малых фракций, сложностью конструкции и т.п. Проведенный анализ показал, что существующие машины разработаны с позиций взаимодействия однородного потока воздуха и отдельной частицы без учета пульсационных составляющих скорости воздуха и масштабов вихревых структур в потоках транспортирующей среды; не учитываются самоконгломерация мелкой фракции и влияние турбулентных следов движения крупных частиц [2,3]. Решением эффективной классификации является обеспечение для заданного диаметра равновесных частиц необходимых параметров однородности турбулентного потока. Большой вклад в развитие теоретических подходов к воздушной классификации внесли работы известных ученых Абрамовича Г.Н., Лойцянского Л.Г., Брэдшоу П., Бусройда Р., Гильберта Б., Гиневского А.С., Смолдырева А.Е., Островского Г.М. и др. Таким образом, можно сделать вывод о том, что сущест-

вующие машины для воздушной сортировки не в полной мере отвечают требованиям, определяющим эффективность работы оборудования.

Создание оборудования, отвечающего современным требованиям, возможно за счет принципиально новых технических решений на базе использования аэродинамической классификации. Поэтому разработка новых типов машин для воздушной сепарации на основе использования турбулентных потоков и разрушения крупных вихрей является актуальной задачей применительно к получению и подготовке материалов для дорожной отрасли.

Цель работы

Целью данной работы является анализ динамики двухфазных турбулентных структур, образующихся при аэродинамической классификации, применительно к разработанной новой конструкции двухстадийного классификатора пневмораспределения полидисперсных смесей и для определения его оптимальных технических параметров.

Основной раздел

При математическом описании турбулентного движения мгновенная скорость потока в рассматриваемой точке для каждой из трех ее составляющих – продольной (ось *x*), поперечной (ось *y)* и тангенциальной (ось *z*) – представляется в виде суммы усредненной скорости (*u, v, w)* и скорости пульсаций (*u', v', w')*:

$$u_t = u + u', \quad v_t = v + v', \quad w_t = w + w' .$$

При прямолинейном течении вдоль оси *x* $u_t = u + u'$, $v_t = v'$, $w_t = w'$. Для давления, не зависящего от направления,

$$p_t = p + p' .$$

Подстановка этих выражений в дифференциальные уравнения движения (уравнения Навье-Стокса) и усреднение по времени и пространству приводят к дифференциальным уравнениям осредненного движения, называемым уравнениями Рейнольдса. Эти уравнения отличаются от уравнений Навье-Стокса наличием добавочных («рейнольдсовых») касательных напряжений, определяемых при поступательном движении газа вдоль оси *x* выражениями:

$$\tau_{xx} = -\overline{\rho_г u'^2}, \quad \tau_{xy} = -\overline{\rho_г u'v'}, \quad \tau_{xz} = -\overline{\rho_г u'w'},$$

где $\rho_г$ – плотность газа.

Система уравнений Рейнольдса является незамкнутой, поскольку число неизвестных величин в ней превышает число уравнений. Для компенсации недостающих связей используются аналогия между турбулентными и молекулярными напряжениями и экспериментальные данные о статистических связях между пульсациями в пространстве и времени.

Порядок величины скорости турбулентных пульсаций характеризует так называемая динамическая скорость (скорость трения), представляющая собой усредненное значение продольной и поперечной составляющих скорости пульсаций. Количественной мерой степени статистической связи между пульсациями скоростей в пространстве является коэффициент пространственной корреляции, определяемый для параллельного течения вдоль оси *x* соотношением [4]:

$$R(x_{12}) = \frac{\overline{u_1' u_2'}}{\sqrt{(\overline{u_2'^2}) \cdot (\overline{u_1'^2})}},$$

где u'_1 и u'_2 – пульсационные скорости, измеренные одновременно в точках 1 и 2, разделенных расстоянием x_{12}.

Основными параметрами, характеризующими турбулентное течение, помимо числа Рейнольдса и динамической скорости, являются интенсивность или степень турбулентности, масштаб турбулентности и частота турбулентных пульсаций, их распределение и характерные значения.

Масштаб турбулентности характеризует средний размер пульсационных объемов (вихрей), обладающих одинаковой скоростью и ведущих себя некоторое время как одно целое [5].

$$l = \int_0^\infty R(y)dy.$$

Поперечное расстояние, на котором данный пульсационный объем теряет целостность, получило название пути перемешивания (или смешения). Оно лежит в основе так называемой полуэмпирической теории турбулентности.

В пристеночной области потока длина пути перемешивания принимается прямо пропорциональной расстоянию до граничной поверхности:

$$l_m = ky,$$

где k – коэффициент Кармана.

В статистической теории турбулентности вместо указанного выше эйлерова коэффициента корреляции $R(y)$ используется лагранжев временной коэффициент корреляции:

$$R_L(\theta) = u'(t) \cdot u'(t+\theta) / u'^2(t),$$

характеризующий степень связанности между пульсационными скоростями движущейся частицы среды в смежные моменты времени t и $t+\theta$.

Частота пульсаций характеризует число изменений амплитудных значений пульсационной скорости в секунду. Численное значение ее зависит от масштаба вихря, и поскольку в турбулентном потоке присутствуют вихри всех масштабов, существует не одна, а целый спектр частот пульсаций. Учитывая связь частоты пульсаций с масштабом вихрей и, следовательно, с амплитудой скорости пульсаций и их кинетической энергией, в теории турбулентности часто используется более общая характеристика, а именно частотно-энергетический или кратко частотный спектр пульсаций, показывающий распределение пульсационной энергии по частотам, тем самым и по масштабам турбулентных вихрей [3,4].

Создание машины для эффективного разделения полидисперсного материала управлением характеристиками несущего потока осуществляется на основе законов движения турбулентных структур в несущем потоке газа и изменения его масштабов. Разрушение крупномасштабных структур позволит обеспечить однородность поля скоростей и эффективную работу сепараторов. Турбулентное течение характеризуется осредненной составляющей и пульсационной, которая не является полностью «случайной» величиной, поскольку, несмотря на то, что рождение вихря, обусловленное неустойчивостью в некоторой точке поля течения, «случайно», его пос-

ледующая эволюция описывается уравнениями Навье-Стокса. Предсказуемость турбулентных течений ограничивается относительно короткими промежутками времени и не зависит от того, насколько точно известны начальные условия.

На поперечное движение частицы (по оси *y*) оказывает влияние пульсационная (турбулентная) составляющая скорости воздуха. При анализе турбулентных течений воздуха, несущего частицу, рассматривается задача о диффузии воздуха. На входе в классификатор распределение скоростей воздуха по поперечному сечению характеризуется однородной стационарной турбулентностью. В начале координат (на оси потока) рассматриваются элементарные объемы воздуха. В этом случае интересны не траектории отдельных объемов воздуха, а некоторые средние характеристики.

Лагранжева координата элементарного объема воздуха в момент времени *t* (рассматривается движение только вдоль оси *y*) определяется формулой [6]:

$$y(t) = \int_0^t v(\tau) d\tau ,$$

где v(τ) – пульсационная составляющая скорости по оси y.

Осредняя это выражение по многим реализациям (т.е. по большой последовательности элементарных объемов воздуха), можно показать, что среднее значение *y* равно нулю. Другими словами, центр тяжести облака отдельных элементарных объемов воздуха в статистическом смысле не удаляется от начала координат (от оси потока). При умножении последнего равенства на *v(t)* и осреднения получено:

$$\frac{d}{dt}\left(\overline{\frac{1}{2} y^2(t)}\right) = \int_0^t \overline{y(t)v(\tau)} d\tau .$$

Обе части данного уравнения имеют размерность коэффициента диффузии (м^2/с), т.е. рассматриваемое уравнение определяет коэффициент турбулентной диффузии.

При стационарной турбулентности пульсационная составляющая скорости элементарного объема воздуха является стационарной функцией времени. Такую функцию можно исследовать с помощью преобразований Фурье. Свойства корреляционной функции $R_L(\tau)$ таковы, что при использовании обычного косинус-преобразования [5] получена спектральная плотность мощности:

$$E(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \cos\omega\tau R_L(\tau)\, d\tau .$$

При τ = 0 справедливо:

$$R_L(0) = \overline{v^2} = \int_0^\infty E(\omega) d\omega .$$

Функцию $E(\omega)$ называют спектральной плотностью мощности, энергетическим спектром или просто спектром. Величина $E(\omega)d\omega$ определяет вклад в величину $\overline{v^2}$ пульсационных составляющих с частотами в интервале $d\omega$ около частоты ω.

При $\omega=0$ формула спектральной плотности мощности имеет вид:

$$E(0)=\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}R_L(\tau)\,d\tau=\frac{2}{\pi}\overline{v^2}T_L\,.$$

Значение спектральной функции при $\omega=0$ определяет (с точностью до численного множителя) коэффициент турбулентной диффузии, который появляется при описании диффузии на больших интервалах времени.

В случае двухфазной струи движение частиц транспортируемого материала зависит от законов движения транспортирующей среды, в случае пневмоклассификации – от законов движения воздуха. Скорость $w(t)$ частицы описывается дифференциальным уравнением:

$$\Lambda\frac{dw}{dt}+w(t)=v(t)\,,$$

где Λ – постоянная времени, характеризующая инерцию частицы,

$v(t)$ – скорость воздуха на траектории частицы [6].

Если $w(t)$ и $v(t)$ – стационарные случайные функции, то можно составить уравнение, связывающее их корреляционные функции. Вводя для ускорения частицы dw/dt обозначение $a(t)$, из последнего уравнения, получаем:

$$\begin{aligned}
&\Lambda^2\overline{a(t)a(t+\tau)}+\overline{w(t)w(t+\tau)}=\overline{v(t)v(t+\tau)},\\
&\overline{a(t)a(t+\tau)}=-\frac{d^2R_w}{d\tau^2}=-\overline{w^2}\frac{d^2\rho_w}{d\tau^2},\\
&\overline{w(t)w(t+\tau)}\;=R_w(\tau)=\overline{w^2}\rho_w(\tau),\\
&\overline{v(t)v(t+\tau)}\;=R_v(\tau)=\overline{v^2}\rho_v(\tau)\,.
\end{aligned}$$

Подстановка корреляционных функций приводит к уравнению:

$$-\Lambda^2\frac{d^2R_w}{d\tau^2}+R_w(\tau)=R_v(\tau)\cdot$$

Применяя к нему преобразование Фурье, получим:

$$\left(\Lambda^2\omega^2+1\right)E_w(\omega)=E_v(\omega)\,.$$

При интегрировании данного уравнения в пределах от $\tau = 0$ до бесконечности первый член пропадает, так как $dR_w/d\tau=0$ при $\tau=0$ и $\tau\to\infty$. Следовательно:

$$\int_0^{\infty}R_w(\tau)d\tau\;=\;\int_0^{\infty}R_v(\tau)d\tau,\quad\overline{w^2}T_w=\overline{v^2}T_v\,,\quad E_w(0)=E_v(0)\,.$$

Отсюда следует, что коэффициенты диффузии равны и не зависят от постоянной времени Λ рассматриваемых частиц.

Интегрирование этого же уравнения, при $\tau = 0$, приводит к соотношению:

$$\left(2\Lambda^2/\lambda_w^2+1\right)\overline{w^2}=\overline{v^2},$$

где микромасштаб частиц λ_w^2 определен формулой:

$$2\frac{\overline{w^2}}{\lambda_w^2}=\int_0^\infty \omega^2 E_w(\omega)d\omega\cdot$$

Следовательно, микромасштаб связан со среднеквадратическим значением пульсаций ускорения, с кривизной корреляционной кривой при $\tau=0$ и со вторым моментом спектральной плотности. Если при высоких частотах функция $E_w(\omega)$ убывает пропорционально ω^{-3} или более медленно, то интеграл не сходится, так что $\lambda_w=0$.

Средний квадрат скорости частицы определяется

$$\overline{w^2}=\int_0^\infty E_w(\omega)d\omega \quad = \quad \int_0^\infty \frac{E_v(\omega)d\omega}{1+\omega^2\Lambda^2}.$$

Учитывая, что корреляционная функция R_v аппроксимируется выражением $R_v\left(\tau\right)=\overline{v^2}e^{-\tau/T_v}$, в результате преобразования Фурье получаем:

$$E_v(\omega)=\frac{2}{\pi}\frac{\overline{v^2}T_v}{1+\omega^2T_v^2}\cdot$$

Аналогично преобразование Фурье для функции $\left(1+\omega^2\Lambda^2\right)^{-1}$ имеет вид $\left(\pi/\Lambda\right)e^{-\tau/\lambda}$. Применение равенства Парсеваля дает:

$$\overline{w^2}=\int_0^\infty \frac{E_v(\omega)d\omega}{1+\omega^2\Lambda^2}= \quad \frac{2}{\pi}\overline{v^2}\,\frac{\pi}{2\Lambda}\int_0^\infty \exp\left(-\frac{\tau}{T_v}-\frac{\tau}{\Lambda}\right)d\tau \quad = \quad \frac{\overline{v^2}T_v}{\Lambda+T_v}\cdot$$

Последнее уравнение позволяет оценить средний квадрат поперечной (а, соответственно, и пульсационной) составляющей скорости частицы в потоке через характеристики струи воздуха и величину Λ, зависящую от скорости витания частицы, т.е. от ее размеров и плотности. Поперечная составляющая скорости частицы регламентирует длину и поперечное сечение газоходов, т.к. если частица достигает стенки машины, то, независимо от ее размеров, она не подвергается аэродинамической классификации.

Одним из эффективных решений по управлению размерами турбулентных структур является установка решеток на пути их следования. При этом, форма решетки, с одной стороны, не должна вызывать значительного увеличения гидравлического сопротивления потоку, с другой стороны, энергия вихрей не должна превышать допустимых величин, зависящих от размеров частиц в готовом продукте [7,8]. Поэтому в зависимости от характеристик классификации материала необходимо установить допустимые максимальные размеры вихрей, определить их энергию и сместить энергетический спектр в область регламентируемых значений.

Выводы

1. Анализ процессов, протекающих в двухстадийном воздушном сепараторе с позиций турбулентных структур двухфазной среды, позволяет оценить величину пульсационной составля-

ющей скорости частицы в потоке через характеристики струи воздуха. Поперечная составляющая скорости движения частицы определяет длину и поперечное сечение рабочих каналов. Регламентируя ее, можно управлять размерами турбулентных структур несущего воздухопотока.

2. Одним из технических решений по управлению размерами воздушных турбулентных структур является установка решеток на пути их следования, что и положено в основу патента Украины [9] на внедренную конструкцию двухстадийного классификатора для пневморазделения полидисперсных смесей.

Список литературы

1. Борщевский А.А. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий / А.А. Борщевский, А.С. Ильин. – М.: Машиностроение, 1987. – 368 с.

2. Галиакберов Р. Совершенствование пневмотранспорта сыпучих материалов на предприятиях строительной индустрии / Р. Галиакберов, В. Герасимова, А. Тюменев – М.: ЦБНТИ Минпромстроя СССР, 1977. – 63 с.

3. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович – М.: Наука, 1984. – 717 с.

4. Мейер Х.У. Влияние турбулентных характеристик течения в аэродинамической трубе на развитие пограничного слоя / Х.У. Мейер, Х.П. Креплин // Ракетная техника и космонавтика, 1980, 18, № 3. – С. 11-17.

5. Монин А.С. Статистическая гидродинамика / А.С. Монин, С.Г. Ушаков – М.: Наука. – 1967. ч.2. – 720 с.

6. Лебига В.А. Вопросы измерения характеристик турбулентности сжимаемых течений / В.А. Лебига //В кн.: Методы и техника аэрофизических исследований – Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1978. – С. 44-56.

7. Гиневский А.С. Вырождение турбулентности потока за двухрядной решеткой цилиндров при противоположном движении рядов / А.С. Гиневский, А.В. Колесников, Л.Н. Уханова // Изв. АН СССР. Сер. Механика жидкости и газов, 1979, № 3. – С. 17-25.

8. Рыбалко Р.И. / Теоретические исследования рабочих процессов аэродинамической классификации в помольных агрегатах сухого измельчения / Р.И. Рыбалко, О.В. Гущин, А.К. Кралин // Збірник наукових праць ДонІЗТ № 39. – Донецьк. 2014. – С. 17-25.

9. Патент № 18198, Україна МПК B02C 23/10 (2006.01). Двостадійний класифікатор сипучих матеріалів / Рибалко Р.І., Баранов А.М. (Україна); заявник та патентовласник Р.І. Рибалко. – № u200609779; заявл. 12.09.06; опубл. 16.10.06, Бюл. № 10.

Рибалко Р.І. Дослідження аеродинамічної класифікації сипких матеріалів в двостадійному сепараторі стосовно машин для будівництва автомобільних доріг

Анотація. *Розглянуто процеси, що протікають у першому ступені повітряного сепаратора, з позицій турбулентних структур двофазного середовища. Надано оцінку величини пульсаційної складової швидкості частки в газоматеріальному потоці через характеристки струменю повітря. Показано, що поперечна складова швидкості руху частки, визначає геометричні розміри робочих каналів. Доведено, що регламентуючи поперечну складову швидкості руху, можна керувати параметрами турбулентних структур повітряного потоку. В якості технічного рішення з керування повітряними турбулентними структурами використано решітку розділення.*

Ключові слова: *сипкі матеріали, класифікація, сепаратор, повітряний потік, турбулентний струмінь, характеристики повітряного струменю.*

Rybalko R.I. The research of aerodynamic classification of bulk materials in a two-stage separator due to machines for automobile road construction

Abstract. *The processes occurring in the first stage of the air separator are considered from the point of turbulent structures of the two-phase environment. The estimation of the value of the fluctuating component of the particle velocity in the flow of gaz and material mixture through the air jet is presented. It is shown that the transverse component of the velocity of the particle motion determines the geometric dimensions of operating channels. It is proved that one can control the parameters of turbulent airflow struture by the regulation of transverse component of the velocity of the particle motion. The separation grating is used as technical solution for management of air turbulence structures.*

Keywords: *bulk materials, classification, separator, air flow, turbulent jet, the characteristics of a turbulent jet*

Стаття надійшла до редакції 07.06.2015 р.

АВТОРИ НОМЕРА

Адров Дмитро Сергійович – Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ
Бєлов Юрій Васильович – Донецька академія автомобільного транспорту
Грабельніков Володимир Анатолійович – Донецька академія автомобільного транспорту
Грицук Юрій Валерійович – Донбаська національна академія будівництва та архитектури, м.Макіївка
Губа Костянтин Романович – Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка
Гущин Анатолій Михайлович – Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ
Гущин Олег Володимирович – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
Єфименко Алла Миколаївна – Національний транспортний університет, м. Київ
Останькович Анастасія Дмитрівна – Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ
Полєтайкін Олексій Миколайович – Сибірський державний університет телекомунікацій та інформатики, м.Новосибірськ
Прилепський Юрій Валентинович – Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ
Рибалко Роман Іванович – Донбаська національна академія будівництва та архитектури, м.Макіївка
Шилін Ігор Володимирович – Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка
Яблуновська Ірина Анатоліївна – Донецька академія автомобільного транспорту

ПРАВИЛА ПОДАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Для публікування в журналі «Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» приймаються неопубліковані раніше наукові статті в галузях: транспорту і двигунів внутрішнього згоряння; проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг; надійності й довговічності механізмів і машин; транспортних технологій.

У журналі друкуються статті українською, російською (змішаними) мовами.

Для публікації наукової статті в редакцію необхідно представити наступні документи:

– текст статті у 2-х форматах;

– назву статті, анотацію та ключові слова українською, російською та англійською мовами;

– експертний висновок про можливість відкритого публікування;

– завірену рецензію доктора наук або члена редакційної колегії;

– відомості про автора (-ів) (прізвище, ім'я та по батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце та адреса роботи для кожного автора)

– інформація для зв'язку: e-mail, службовий або домашній телефони, поштова адреса (для відправлення авторського екземпляру журналу) одного з авторів.

Вимоги до рукописів

Стаття подається у 2-х варіантах: у форматі WordforWindows – **.doc** (або **.docx**); та у форматі **.pdf** (сканований документ з нумерацією сторінок та підписом автора).

Обсяг наукової статті 5–10 сторінок тексту, які включають таблиці, ілюстрації (4 рисунки дорівнюються 1 сторінці), перелік літератури. Обзорні статті – до 12 сторінок.

Параметри сторінки: розмір – А4 (210 х 297мм); орієнтація – книжкова; поля: верхнє – 15мм, нижнє – 25мм, ліве – 25мм, праве –15мм.

Весь текст повинен бути набраний стилем «Звичайний» (Normal), тип шрифта – TimesNewRoman.

Структура статті

Код УДК (універсальний десятинний класифікатор)	Шрифт: 12пт, напівжирний курсив Абзац: вирівнювання – по лівому краю, міжрядковий інтервал – одинарний
Пустий рядок	Шрифт: 12пт, Абзац: міжрядковий інтервал – одинарний
Прізвище (-ща) та ініціали автора (-ів), науковий ступінь, вчене звання Повна назва організації	Шрифт: 11пт, напівжирний курсив Абзац: вирівнювання – по центру сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний
Пустий рядок	
НАЗВА СТАТТІ	Шрифт: 14пт, напівжирний,всі букви строчні Абзац: вирівнювання – по центру сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний
Пустий рядок	
Анотація мовою оригіналу статті(не більш 80 слів, ширина рядка 130 мм) *Ключові слова:*	Шрифт: 11пт, курсив Абзац: вирівнювання – по центру сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ ліворуч – 20мм, та праворуч – 20мм.
Пустий рядок	
Основний текст статті Текст рукопису повинен містити такі розділи, як:	Шрифт: 12пт, звичайний Абзац: вирівнювання – по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – множитель 1,1пт, відступ першо-

Постановка проблеми де відображається історія предмету дослідження, актуальність та сучасний стан проблеми; **Аналіз останніх досліджень** на які спирається автор, виділення невирішених раніше аспектів загальної проблеми, яким присвячується означена стаття; **Мета статті** (постановка задачі); **Основний розділ** (можливі підрозділи); **Висновки** де стисло та чітко підсумовуються основні результати, що були одержані автором (-ами).	го рядка – 7,5мм. Назви розділів напівжирним шрифтом без крапки наприкінці. Таблиці повинні мати тематичні назви та порядкові номера (без знаку №), на які даються посилання у тексті. Рисунки та графіки повинні бути пронумеровані в порядку посилання у тексті. Кожний рисунок розміщується в окремому файлі (формати **.bmp, .jpg, .tiff**). Кольорові та фонові рисунки не приймаються. Перелік рисунків з номерами та підписами рисунків пишуться в окремому документі. Усі формули повинні бути набрані у редакторі формул MicrosoftEquation 2.0, 3.0 (MathType). При виборі одиниць виміру слід дотримуватись системи СІ. Ціла частина числа від десятичної відділяється комою. Нумерація формул дається арабськими цифрами в круглих дужках праворуч. Посилання на джерела беруться у квадратні дужки.
Пустий рядок	
Список літератури **1. який виконується згідно ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання» та в порядку посилання.**	Назва розділа – шрифт: 12пт, напівжирний. Текст списка: Шрифт: 11пт, курсив; Абзац: вирівнювання – по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ першого рядка – 7,5мм.
Пустий рядок	
Ф.И.О. авторов. Название статьи на альтернативном языке (П.І.Б. авторів. Назва статті на альтернативній мові) ***Анотация (Анотація).*** *Анотація на альтернативній мові (російська, якщо стаття на українській мові; або українська, якщо стаття на російській мові.* ***Ключевые слова (Ключові слова):*** *на альтернативній мові*	Шрифт: 12пт, курсив Абзац: вирівнювання –по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ першого рядка – 7,5мм
Пустий рядок	
П.І.Б. авторів. Назва статті на англійській мові ***Abstract.*** *Переклад анотації на англійську мову.* ***Keywords:*** *Переклад ключових слів на англійську мову*	Шрифт: 12пт, курсив Абзац: вирівнювання –по ширині сторінки, міжрядковий інтервал – одинарний, відступ першого рядка – 7,5мм

Статті, що не відповідають вимогам, повертаються авторам для доопрацювання.

Після прийняття редколегією рішення про допуск статті до публікації відповідальний секретар інформує про це автора й указує строки публікації, розмір плати за публікацію статті та банківські реквізити Академії.

ПОРЯДОК РЕЦЕНЗУВАННЯ СТАТЕЙ

1. Наукові статті, що надійшли до редакції, проходять через інститут рецензування.

2. Форми рецензування статей:

– зовнішня (рецензування рукописів статей доктором або кандидатом наук, який є провідним спеціалістом у відповідній галузі науки);

– внутрішня (рецензування рукописів статей членами редакційної колегії).

3. У зовнішній рецензії повинні бути висвітлені наступні питання:

– чи відповідає зміст статті заявленій в назві темі;

– наскільки стаття відповідає сучасним досягненням у зазначеній галузі;

– чи доступна стаття читачам, на яких вона розрахована, з погляду мови, стилю, розташування матеріалу, наочності таблиць, діаграм, малюнків та ін.;

– чи доцільна публікація статті з урахуванням раніше випущеної по даному питанню літератури;

– у чому конкретно полягають позитивні сторони, а також недоліки статті, які виправлення й доповнення повинні бути внесені автором;

– висновок про можливість опублікування даного рукопису в журналі: «рекомендується», «рекомендується з урахуванням виправлення відзначених рецензентом недоліків» або «не рекомендується».

4. Зовнішня рецензії засвідчуються в порядку, установленому в установі, де працює рецензент. Рецензія повинна бути підписана рецензентом з розшифровкою посади, наукового ступеня і вченого звання.

5. Відповідальний секретар протягом 7 днів повідомляє авторів про одержання статті.

6. Відповідальний секретар визначає відповідність статті профілю журналу, вимогам до оформлення й направляє її на внутрішнє рецензування члену редакційної колегії, що має найбільш близьку до теми статті наукову спеціалізацію.

7. Строки рецензування в кожному окремому випадку визначаються відповідальним секретарем з урахуванням створення умов для максимально оперативної публікації статті.

8. Внутрішня рецензія виконується членами редакційної колегії журналу у відповідності з наказом ректора Академії від 11.10.2010р. №153-01 «Про затвердження Положення про порядок випуску наукового фахового видання Вісник Донецької академії автомобільного транспорту».

Рецензент коментує якість рукопису за такими пунктами, як:

– наукова новизна,

– обґрунтованість результатів,

– значимість результатів,

– ясність викладання,

– якість оформлення;

виставляє по кожному пункту параметричну оцінку від 0 до 5. В залежності від суми балів приймається рішення про доцільність публікації, про необхідність доопрацювання рукопису, або про недоцільність публікації.

Рецензія повинна бути підписана рецензентом з розшифровкою посади, наукового ступеня і вченого звання.

9. У випадку відхилення статті від публікації редакція направляє авторові мотивовану відмову.

10. Наявність позитивної рецензії не є достатньою підставою для публікації статті. Остаточне рішення про доцільність публікації ухвалюється вченою радою Академії.

11. Оригінали рецензій зберігаються в редакції наукового журналу «Вісник Донецької академії автомобільного транспорту».