

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# НЕФТЬ И ГАЗ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Материалы  
Международной научно-технической конференции,  
посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича*

Том III

Проектирование, сооружение и эксплуатация систем транспорта  
и хранения нефти и газа

Автомобильно-дорожные проблемы нефтегазового комплекса

Тюмень  
ТюмГНГУ  
2015

УДК 629.36 + 625.7 + 621.644 + 622.692.4 + 622.691.4  
ББК 33.16 + 39.71  
П79

Ответственный редактор – кандидат технических наук,  
доцент П. В. Евтин

Редакционная коллегия:

Д. В. Пяльченков (зам. ответственного редактора); С. М. Соколов,  
Р. А. Мамадалиев, Н. С. Захаров, А. В. Базанов

П79      **Нефть** и газ Западной Сибири: материалы международной научно-технической конференции. Т. 3. Проектирование, сооружение и эксплуатация систем транспорта и хранения нефти и газа. Автомобильно-дорожные проблемы нефтегазового комплекса / ТюмГНГУ; отв. ред. П. В. Евтин. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 346 с.

В материалах конференции изложены результаты исследовательских и опытно-конструкторских работ по широкому кругу вопросов.

В состав третьего тома вошли материалы работы секций «Проектирование, сооружение и эксплуатация систем транспорта и хранения нефти и газа» и «Автомобильно-дорожные проблемы нефтегазового комплекса».

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работников, руководителей и управленческих работников предприятий нефтегазовой отрасли, а также аспирантов и студентов технических вузов.

УДК 629.36 + 625.7 + 621.644 + 622.692.4 + 622.691.4  
ББК 33.16 + 39.71

ISBN 978-5-9961-1125-1 (Т. 3)  
ISBN 978-5-9961-1110-7

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тюменский государственный  
нефтегазовый университет», 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СООРУЖЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО<br>МОНИТОРИНГА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В<br>УСЛОВИЯХ СЕВЕРА .....        | 11 |
| З.Ш. Алескерова, С.А. Пульников, Ю.С. Сысоев<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                     |    |
| ПРИМЕНЕНИЕ "СУХОЙ ВОДЫ" В АДсорбции ПРОПАНА И ВОДОРОДА .....                                                                                   | 16 |
| Д.Е. Анфёров, В.Д. Шантарин, М.Ю. Земенкова<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                      |    |
| СИЛИКАТНО-ЭМАЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРОМЫСЛОВЫХ<br>ТРУБОПРОВОДОВ .....                                                                             | 21 |
| В.Н. Артюшкин<br>Самара, Самарский государственный технический университет                                                                     |    |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ<br>ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ<br>В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ..... | 27 |
| И.В. Артюшкин<br>Самара, ОАО «Гипровостокнефть»                                                                                                |    |
| ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С АСПО .....                                                                                                           | 31 |
| А. Ф. Галимов, Т.Г. Донцу, М.Д. Козлов, Л.В. Бондаровская<br>Ноябрьск, Тюменский государственный нефтегазовый университет                      |    |
| ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА УТЕЧЕК НА МАГИСТРАЛЬНЫХ<br>НЕФТЕПРОВОДАХ .....                                                                     | 34 |
| Е. А. Гильмияров, И. Г. Силина<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                   |    |
| СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШИ<br>ОТ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК В РЕЗЕРВУАРАХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА .....                              | 37 |
| С.А. Гредасова, В.К. Тян<br>Самара, Самарский государственный технический университет                                                          |    |
| АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМЫ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ ПРИ<br>ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОВОДА .....                                                            | 39 |
| М.А. Зарубина, М.Ю. Земенкова<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                    |    |
| ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ<br>ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТЕ УГЛЕВОДОРОДОВ .....                                            | 42 |
| М.Ю. Земенкова, В.А. Костров, И.В. Сероштанов, И.В. Тырылгин<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                     |    |
| СИСТЕМА СБОРА ПАРОВ ЛЕГКИХ ФРАКЦИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА<br>РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ .....                                                               | 47 |
| Н.И. Иванова, И.А. Федотова, Е.А. Чернышова<br>Самара, Самарский государственный технический университет                                       |    |
| ПРОЕКТ РЕЗЕРВУАРА ОБЪЕМОМ 100000 М3 СО СТЕНКОЙ КАННЕЛЮРНОГО<br>ТИПА .....                                                                      | 50 |
| Л.Е. Землеруб, А.Ю. Егоров, И.И. Чемоданова, М.Е. Голдаевич                                                                                    |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ<br>АРМИРОВАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМИ НИТЯМИ ТРУБ В НЕФТЕГАЗОВОМ<br>КОМПЛЕКСЕ .....                                                                                                                                                          | 53 |
| Д.В.Ковалёв<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                                                                                                                            |    |
| ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНИ-ТУРБИН ДЛЯ ВЫРОБОТКИ ЭНЕРГИИ<br>НА ТРУБОПРОВОДАХ .....                                                                                                                                                                                                | 57 |
| Колупаев С.А.<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                                                                                                                          |    |
| ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОБЪЕКТОВ<br>НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ .....                                                                                                                                                                 | 62 |
| Р.А. Кудряшов <sup>1</sup> , О.М. Кудряшова <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Тюмень, ОАО «Гипротюменнефтегаз»,<br><sup>2</sup> Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                |    |
| ВЫБОР БОКОВЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ<br>ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ<br>С МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ .....                                                                                                                                        | 64 |
| Е.В. Марков, С.А. Пульников, Ю.С. Сысоев<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                                                                                               |    |
| ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА<br>МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГНОЗНЫХ<br>ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ .....                                                                                                                                                   | 67 |
| Е.В. Марков<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                                                                                                                            |    |
| ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ<br>ДЕФЕКТОСКОПОВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТРУБОПРОВОДОВ .....                                                                                                                                                                               | 70 |
| Д.Р. Мартюк, П.В. Чепур<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                                                                                                                |    |
| TRENCHLESS METHODS .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 74 |
| М.Р. Меджидов, Т.А. Островерхова<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                                                                                                       |    |
| РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ПЕТЕЛЬ<br>МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА .....                                                                                                                                                                                            | 77 |
| К.Р. Муратов, Р. А. Соколов<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                                                                                                                            |    |
| ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ<br>СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ПРИ КОЛЬЦЕВОЙ СХЕМЕ НАГРЕВА .....                                                                                                                                                                             | 81 |
| А.Г. Обухов <sup>1</sup> , Е.М. Сорокина <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет, <sup>2</sup> Тюмень,<br>Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт)<br>имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова |    |
| ФОРМИРОВАНИЕ ПОДМУФТОВОГО СЛОЯ КЛЕЕСВАРНОЙ МУФТЫ....                                                                                                                                                                                                                                 | 87 |
| А.А. Подолян<br>Украина, Киев, Национальный технический университет Украины Киевский<br>политехнический институт                                                                                                                                                                     |    |
| ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ<br>ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ .....                                                                                                                                                                                                  | 90 |
| С.А. Пульников <sup>1</sup> , Ю.С. Сысоев <sup>1</sup> , С.А. Лазарев <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет<br><sup>2</sup> Сургут, ООО «Газпром трансгаз Сургут»                                                                  |    |



|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| АНАЛИЗ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА В ТРАССОВЫХ УСЛОВИЯХ .....                          | 95  |
| Д.А. Серебренников, В.В. Визе                                                                                               |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                  |     |
| АВАРИИ И ОСЛОЖНЕНИЯ В БЕСТРАНШЕЙНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРУБОПРОВОДОВ.....                                                        | 98  |
| И.В. Сероштанов <sup>1</sup> , В.С. Торопов <sup>2</sup> , С.Ю. Торопов <sup>2</sup>                                        |     |
| <sup>1</sup> Надым, ОАО «Газпром трансгаз Югорск»                                                                           |     |
| <sup>2</sup> Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                     |     |
| ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА ..        | 103 |
| В.А. Иордан                                                                                                                 |     |
| Тюмень, НАО «Сибирский научно-аналитический центр»                                                                          |     |
| МНОГОСЛОЙНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДНИЩА ДЛЯ РЕЗЕРВУАРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА.....                                                         | 107 |
| М.Р. Терегулов, С.Д. Фан                                                                                                    |     |
| Самара, Самарский государственный технический университет                                                                   |     |
| МОДЕЛЬ РАБОТЫ НЕФТЯНОГО ТЕРМИНАЛА .....                                                                                     | 113 |
| В.С. Тимченко                                                                                                               |     |
| Санкт-Петербург, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН                                                         |     |
| МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ.....                                      | 116 |
| Е.С. Торопов, С.Ю. Подорожников, В.С. Торопов                                                                               |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                  |     |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....                   | 119 |
| В.П. Устинов, В.Ф. Новиков, О.В. Зумарева                                                                                   |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                  |     |
| О ПРИЧИНАХ РОСТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ..... | 123 |
| В.П. Фрайштетер, Р.А. Кудряшов                                                                                              |     |
| Тюмень, ОАО «Гипротюменнефтегаз»                                                                                            |     |
| ТРЕХМЕРНОЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРА РВСПК-50000 .....                                                    | 127 |
| П.В. Чепур, А.А. Тарасенко                                                                                                  |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                  |     |
| ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА НЕФТЕШЛАМОВ ..                                                               | 132 |
| В.Д. Шантарин, М.Ю. Земенкова                                                                                               |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                  |     |
| МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА НЕФТЕШЛАМОВ.....                                                  | 136 |
| В.Д. Шантарин, М.Ю. Земенкова                                                                                               |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                  |     |
| ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕЗЕРВУАРОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА.....                                                    | 140 |
| А.У. Якупов, Н.В. Шатайлова, В.И. Кучерюк                                                                                   |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                  |     |

# АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ГРУЗОВОЙ АВТОТРАНСПОРТ НА ЭЛЕКТРОТЯГЕ .....                                                                                                   | 144 |
| А.В. Базанов, Е.С. Козин, Г.К. Буторин                                                                                                        |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ<br>ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ .....                                                            | 148 |
| В.И. Бауэр, Е.С. Козин, А.В. Базанов                                                                                                          |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО МАРОЧНОГО<br>СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ АО «ТРАНСНЕФТЬ-<br>СИБИРЬ».....             | 152 |
| В.И. Бауэр, Е.С. Козин, А.В. Базанов                                                                                                          |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ<br>НАСЕЛЕНИЯ .....                                                                       | 157 |
| Е.Ф. Бояркина                                                                                                                                 |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| ВЗАИМОСВЯЗЬ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА И ЭРГОНОМИЧЕСКИХ<br>ТРЕБОВАНИЙ РАБОЧЕГО МЕСТА ВОДИТЕЛЯ .....                                                  | 159 |
| Л.Н. Буракова                                                                                                                                 |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ<br>ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПЕРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ<br>СЕТИ .....                      | 163 |
| О.Д. Буракова, И.А. Анисимов                                                                                                                  |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ТР<br>В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С<br>УЧЕТОМ МНОГОФАЗОВОСТИ ТР ..... | 166 |
| А.И. Егоров                                                                                                                                   |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПО БОРЬБЕ<br>С НАРУШЕНИЯМИ ПРАВИЛ ПАРКОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ .....                                             | 168 |
| А.Ю. Животовский                                                                                                                              |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА<br>ГОРОДА ТЮМЕНИ.....                                                                    | 170 |
| Д.А. Захаров, А.Н. Чистяков                                                                                                                   |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ АГНКС .....                                                                                          | 175 |
| А.С. Иванов                                                                                                                                   |     |
| Тюмень, Государственный аграрный университет Северного Зауралья                                                                               |     |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЯ УАЗ-3741 ДЛЯ<br>ЭКСПЛУАТАЦИИ В ТЯЖЕЛЫХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА .                           | 181 |
| А.В. Ильюхин, М.В. Хаваев                                                                                                                     |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА ТЮМЕНИ .....                                                            | 184 |
| Д.С. Карманов, А.А.Фадюшин                                                                                                                    |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМОЛООБРАЗОВАНИЯ БЕНЗИНА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ.....                                      | 188 |
| Б.А. Каюмов                                                                                                                                   |     |
| Узбекистан, Андижан, Андижанский машиностроительный институт                                                                                  |     |
| СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ СНЕГА.....                                                                              | 192 |
| В.И. Колесов, В.Г. Оржаховский                                                                                                                |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| ПЕРЕХОД ВЕДОМОГО КОЛЕСА В КАЧЕНИЕ ПРИ ТРОГАНИИ АВТОМОБИЛЯ С МЕСТА .....                                                                       | 198 |
| В.И. Копотилов                                                                                                                                |     |
| Тюмень, Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова               |     |
| ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕНИЯ УПРУГОГО КОЛЕСА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ЖЁСТКОЙ ОСНОВЕ .....                                                               | 201 |
| В.И. Копотилов                                                                                                                                |     |
| Тюмень, Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова               |     |
| АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ СИЛОВОГО И МОЩНОСТНОГО БАЛАНСА ВЕДУЩЕГО КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ .....                                                              | 206 |
| В.И. Копотилов <sup>1</sup> , Л.Б. Пархоменко <sup>2</sup>                                                                                    |     |
| <sup>1</sup> Тюмень, Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова  |     |
| <sup>2</sup> Екатеринбург, ОАО «Инженерный центр энергетики Урала»                                                                            |     |
| «ДИАТОМИК» – НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА УЧАСТКАХ БОЛОТИСТОЙ МЕСТНОСТИ.....                             | 209 |
| Коротков Е.А. <sup>1</sup> , Иванов К.С. <sup>2</sup>                                                                                         |     |
| <sup>1</sup> Тюмень, АНО «Губернская академия», <sup>2</sup> Тюмень, Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук   |     |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ РЕМОНТЕ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ..... | 214 |
| В.Н. Красовский, В.В. Попцов, В.А. Корчагин                                                                                                   |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ТИПОВЫХ СОЧЕТАНИЙ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОЙ ТЕХНИКЕ .....                                | 219 |
| В.Н. Красовский, В.В. Попцов, В.А. Корчагин                                                                                                   |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                    |     |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ.....                 | 223 |
| В.Н. Кузнецова, И.С. Кузнецов                                                                                                                 |     |
| Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия                                                                                |     |

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРИВОДА ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА РЕКУПЕРАТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ.....    | 229 |
| В.Н. Кузнецова <sup>1</sup> , В.В. Савинкин <sup>2</sup>                                                                                     |     |
| <sup>1</sup> Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия                                                                  |     |
| <sup>2</sup> Казахстан, Петропавловск, Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева                                     |     |
| КОРРЕКТИРОВАНИЕ НОРМАТИВОВ РАСХОДА МОТОРНОГО МАСЛА АВТОМОБИЛЯМИ.....                                                                         | 235 |
| Е.И. Макаров                                                                                                                                 |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| МОДЕЛЬ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ СРЕДНЕСУТОЧНОГО ПРОБЕГА И ДЛИНЫ РЕЙСА НА ФАКТИЧЕСКУЮ ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ..... | 239 |
| А.Н. Макарова, Н.С. Захаров                                                                                                                  |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ .....                                     | 243 |
| А.Н. Макарова, Н.С. Захаров                                                                                                                  |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ ПНЕВМОПОДВЕСКИ АВТОБУСОВ KAROSA C934 .....                                                 | 248 |
| А.В. Мальшаков, А.А.Ажол Уулу                                                                                                                |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ АВТОБУСОВ KAROSA C934 .....                                   | 252 |
| А.В. Мальшаков, А.А.Ажол Уулу                                                                                                                |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСУДД В Г. ТЮМЕНЬ .....                                                | 257 |
| В.В. Морозов                                                                                                                                 |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| ПОНЯТИЕ ЗАТОРА. ФОРМИРОВАНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО МЕГАПОЛИСА .....                                                               | 262 |
| Г.Н. Морозов                                                                                                                                 |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОТКАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ И ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ.....                                          | 264 |
| А.А. Панфилов, В.А. Ракитин                                                                                                                  |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ОТКАЗЫ АГРЕГАТОВ И УЗЛОВ ДИЗЕЛЬНЫХ И ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ.....                                              | 267 |
| А.А. Панфилов, В.А. Ракитин                                                                                                                  |     |
| Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                                   |     |
| ВОЗВЕДЕНИЕ НАСЫПЕЙ В СЛОЖНЫХ МЕРЗЛОТНО-ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕБЕННЫХ ЛЬДОВ И ЛЬДОГРУНТОВ ЗАПОЛЯРНОЙ И ПРИПОЛЯРНОЙ ТУНДРЫ .....  | 270 |
| В.В. Пассек <sup>1</sup> , М.В. Пасков <sup>2</sup> , В.С. Андреев <sup>2</sup>                                                              |     |
| <sup>1</sup> Тюмень, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет                                                         |     |
| <sup>2</sup> Москва, ООО «Центральная лаборатория инженерной теплофизики»                                                                    |     |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br>ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ<br>ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА..... | 275 |
| Н.Г. Певнев, М.В. Банкет<br>Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия                                                |     |
| РАЗВИТИЕ СЕТИ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ КОМПРИМИРОВАННЫМ<br>ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ<br>ОМСКЕ.....                | 280 |
| Н.Г. Певнев, М.В. Банкет, А.С. Бакунов<br>Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия                                  |     |
| ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАНИЯ ТОПЛИВА В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС,<br>ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДОСодержащей ДОБАВКИ.....                                     | 285 |
| Н.Г. Певнев, В.В. Понамарчук<br>Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия                                            |     |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОБАЛЛОННЫХ<br>АВТОМОБИЛЕЙ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ .....                           | 290 |
| Н.Г. Певнев, Э.Р. Раенбагина<br>Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия                                            |     |
| АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИДИМОСТИ СВЕТОФОРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ<br>ВОДИТЕЛЯМИ НА СТАРТОВЫЕ ЗАДЕРЖКИ.....                                                | 295 |
| А.В. Писцов<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                 |     |
| О ПАРАДОКСЕ В ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНЫХ САМОХОДНЫХ МАШИН                                                                                   | 297 |
| С.П. Пожидаев<br>Украина, Киев, Национальный университет биоресурсов и природопользования                                                 |     |
| О ПРИЧИНЕ, ПРИВЕДШЕЙ К ЗАБЛУЖДЕНИЮ О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ<br>ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИУСА В ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНЫХ<br>САМОХОДНЫХ МАШИН.....  | 302 |
| С.П. Пожидаев<br>Украина, Киев, Национальный университет биоресурсов и природопользования                                                 |     |
| ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ<br>ЦЕМЕНТОБЕТОНА. ....                                                             | 306 |
| Е.С. Попова<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                 |     |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ ПО<br>ФАКТИЧЕСКОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ .....                                           | 309 |
| В.В. Попцов, В.Н. Красовский, В.А. Корчагин<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                 |     |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА ФАБРИЧНАЯ-<br>МАКСИМА ГОРЬКОГО-СОВЕТСКАЯ .....                                                 | 313 |
| М.М. Тишин, И.А. Анисимов<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                   |     |
| РАЗРАБОТКА ПЕРЕДВИЖНОЙ РЕМОНТНОЙ МАСТЕРСКОЙ ДЛЯ<br>НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА .....                                                          | 317 |
| Н.М. Филькин, В.В. Хрушков<br>Ижевск, Ижевский государственный технический университет<br>имени М.Т. Калашникова                          |     |
| ПРОБЛЕМЫ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ<br>ПРОМЫШЛЕННОГО РАЗВИТИЯ .....                                                      | 321 |
| К.И. Фирсова, Е.В. Пономаренко, М.В. Яценко<br>Барнаул, Алтайский государственный университет                                             |     |

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ С КРУГОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ.....                                                                     | 323 |
| Р.Ф. Хайрулина, С.А. Эртман<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                     |     |
| СОЗДАНИЕ «ГОЛУБОГО КОРИДОРА» НА УЧАСТКЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ МЕЖДУ Г. ТЮМЕНЬ И Г. СУРГУТ .....                                                | 327 |
| Е.М. Чикишев, В.А. Петряков<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                     |     |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНИ АГНКС НА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ Г. ТЮМЕНИ .....                                                                     | 334 |
| А.А. Чикишева<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                   |     |
| ОСОБЕННОСТИ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА СПЕЦИАЛЬНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ АЭРОПОРТОВ .....                                                           | 338 |
| И.Ф. Шакиров<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                    |     |
| КОРРЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ ..... | 342 |
| Г.В. Штайн<br>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет                                                                      |     |

**ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ  
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

*З.Ш. Алескерова, С.А. Пульников, Ю.С. Сысоев*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Для оценки технического состояния и планирования программы капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов (МГ), сооружаемых и эксплуатируемых в сложных геокриологических условиях, ежегодно проводится геотехнический мониторинг (ГТМ) [1].

В условиях Севера трасса системы МГ подвержена негативным геокриологическим процессам, обусловленным [2-4]:

- холмистым рельефом со склонами, разрезанными густой долинно-балочной сетью;
- основанием, сложенным пылеватыми легкоразмываемыми многолетнемерзлыми породами несливающегося типа и сезонномерзлыми породами;
- преобладанием заболоченного рельефа с широким распространением торфяников с льдистыми приповерхностными грунтами;
- изменением климатических условий с повышением температуры воздуха и увеличением продолжительности теплого периода года.

Техногенным фактором, обуславливающим повышение температуры грунтов, увеличение глубины протаивания и активизацию термоэрозионных и термокарстовых процессов, является [5]:

- тепловое и силовое взаимодействие МГ с окружающим грунтом;
- реконструкция системы МГ, приводящая к разрушению естественных растительных покровов технологических проездов строительной техникой.

По результатам ГТМ системы северных МГ ОАО «Газпром» в 2011-2013 гг. зафиксированы участки, эксплуатируемые в ненормативном состоянии, классифицированные по категориям повреждений:

1. Дефляция обвалования – поверхностная ветровая эрозия грунта засыпки траншеи МГ.
2. Обводнение с водной эрозией обвалования - разрушение грунта засыпки траншеи под воздействием водной эрозии, траншея обводнена.
3. Овражная эрозия - линейный размыв грунта, сопровождающийся оврагообразованием вдоль или поперек трассы МГ.

4. Оголение трубопровода - эрозия обвалования с оголением верхней образующей трубопровода, средств баллаستировки и закрепления.

5. Заглубление трубопровода менее 0,6 м - глубина залегания трубопровода менее нормативного значения.

6. Термокарстовая просадка - оттаивание льдистых грунтов и подземного льда, сопровождающееся осадкой и понижением рельефа.

Для регистрации геотехнических повреждений трассы и оценки их протяженности применяются: аэрокосмическое зондирование; вертолетный облет; выборочное полевое обследование. Информация о геотехническом состоянии МГ представляется в виде дефектных ведомостей по результатам комплексного дешифрования космических снимков, фотоматериалов аэровизуальных и полевых маршрутных обследований. Привязка дефектов и повреждений производится к графической пространственной основе геоинформационной системы магистральных трубопроводов методом линейных координат.

По результатам обследований ежегодно формируются отчетные материалы для оценки геотехнического состояния МГ, достоверность которой зависит от качества продуцируемой системой ГТМ информации. Полный объем данных, достаточный для составления прогнозных моделей развития негативных геологических процессов вдоль трассы, при производстве работ по ГТМ требует абсолютного соблюдения программы мониторинга. В действительности все происходит со значительными отклонениями от проекта и приводит к выявленным авторами недостаткам:

1. Производство работ по ГТМ осуществляется в разное время года (с разницей в 2-3 месяца) - в этом случае информацию о состоянии трассы по годам сравнивать не совсем корректно.

2. При отсутствии обобщенной классификации возможных геотехнических повреждений трассы подрядчик применяет собственные критерии оценки - в этом случае появляются участки трассы с ежегодно меняющимися наименованиями повреждений.

3. Отсутствует графическая визуализация геотехнического состояния трассы - результаты мониторинга оформляются в табличном виде с указанием вида и протяженности повреждения с привязкой к километражу газопровода, что не позволяет увидеть полную картину распределения одного вида повреждения по длине МГ.

Недостатки обусловлены отсутствием у заказчика единых требований к исполнителю по составу работ ГТМ, методам сбора, обработке и представлению результатов обследования. Это сказывается на эффективности ГТМ, снижение которой является следствием низкой преемственности результатов, полученных разными исполнителями.

Авторами проведена обработка результатов ГТМ за 2011-2013 гг. с определением долей протяженности участков МГ, находящихся в ненормативном состоянии, и распределением их по шести общим категориям повреждений (рис. 1).



Большая часть повреждений трассы относится к категории «обводнение с водной эрозией обвалования», составляющей по годам 10,5-10,9% от общей протяженности системы МГ; 5,4-5,5% трассы подвержено термокарстовым просадкам; по 2,5-3% приходится в равных долях на оголение трубопровода, овражную эрозию и недостаточное заглубление.

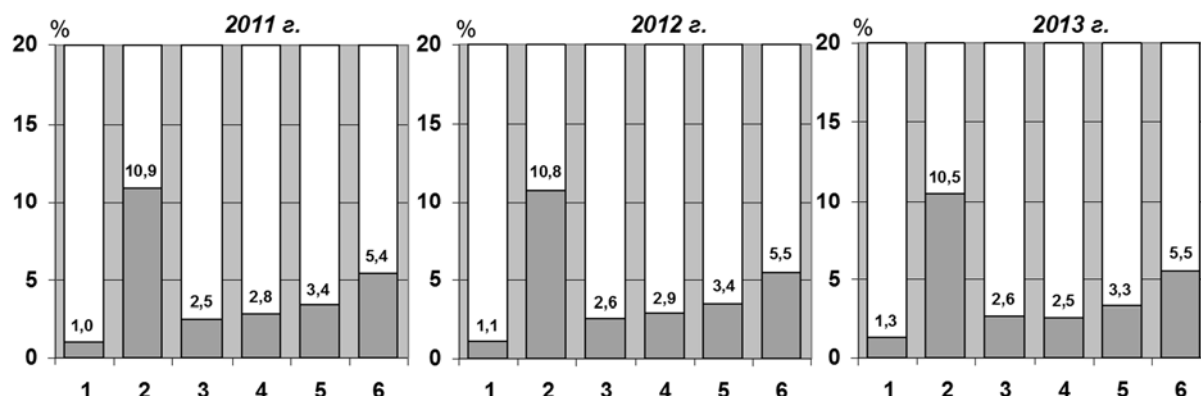


Рис. 1. Доля участков МГ в ненормативном состоянии:

1 - дефляция; 2 - обводнение с водной эрозией; 3 - овражная эрозия;  
4 - оголение трубопровода; 5 - заглубление менее 0,6 м; 6 - термокарст

По каждой категории повреждений проведена оценка приращения по годам. Результаты оценки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сводка результатов ГТМ по участкам МГ  
в ненормативном состоянии за 2011-2013 гг.

| Ненормативное состояние трассы МГ | Доля/(изменение доли) участков в ненормативном состоянии, % |                      |                      |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                                   | 2011 г.                                                     | 2012 г.              | 2013 г.              |
| <b>Сумма:</b>                     | <b>26,0 / (-)</b>                                           | <b>26,3 / (+0,3)</b> | <b>25,7 / (-0,6)</b> |
| <b>В том числе:</b>               |                                                             |                      |                      |
| - дефляция обвалования            | 1,0 / (-)                                                   | 1,1 / (+0,1)         | 1,3 / (+0,2)         |
| - обводнение с водной эрозией     | 10,9 / (-)                                                  | 10,8 / (-0,1)        | 10,5 / (-0,3)        |
| - овражная эрозия                 | 2,5 / (-)                                                   | 2,6 / (+0,1)         | 2,6 / (0)            |
| - оголение трубопровода           | 2,8 / (-)                                                   | 2,9 / (+0,1)         | 2,5 / (-0,3)         |
| - заглубление менее 0,6 м         | 3,4 / (-)                                                   | 3,4 / (0)            | 3,3 / (-0,1)         |
| - термокарстовая просадка         | 5,4 / (-)                                                   | 5,5 / (+0,1)         | 5,5 / (0)            |

Геотехническое состояние трассы, характеризующееся ненормативным состоянием, остается на уровне 26% от общей протяженности линейной части. Изменения, фиксируемые ГТМ в течение последующих лет, незначительны благодаря плановым работам по реконструкции объекта. Однако это же свидетельствует о наличии негативных гидро-

геологических и геокриологических процессов, нивелирующих все усилия по ремонту участков.

Максимальная эффективность работ по восстановлению нормативного состояния газопровода может быть обеспечена правильным выбором участков, на которых геологические процессы имеют негативное по отношению к объекту развитие. Для этого необходимо повысить качество результатов ГТМ и автоматизировать обработку информации, на основе которой принимаются управленческие решения по планированию реконструкции. Повышение качества сегодня объективно затруднено:

- технология ГТМ для диагностики трубопроводных систем внедрена всего 5-10 лет назад и требует развития компетенций исполнителей работ, формирующихся продолжительное время;

- категории геотехнических повреждений трассы МГ имеют сложные геометрические формы и различную пространственную ориентацию к линии трубопровода, экспертная оценка которых может привести к неоднозначной трактовке реального технического состояния объекта;

- значительная протяженность объекта и разнообразие инженерно геологических условий вдоль трассы генерирует хаотичное сочетание взаимодействующих между собой и трубопроводом повреждений.

Совершенствование технологии ГТМ линейной части магистральных газопроводов требует решения следующих актуальных задач:

- разработка методики параметризации категории повреждений, позволяющая оценивать динамику изменения параметров повреждений;

- разработка визуального представления результатов ГТМ для отображения геотехнического состояния в графическом виде;

- разработка методики ранжирования повреждений по степени опасности на основе комплексного анализа сочетания повреждений трассы и технического состояния трубопровода, состояния пригрузов, креплений и других ответственных узлов;

- разработка способа прогнозирования развития негативных геологических процессов для более эффективного планирования реконструкции линейной части МГ;

- разработка стандарта ОАО «Газпром» по форме отчетности ГТМ линейной части для обеспечения преемственности результатов разных исполнителей работ.

Основная цель повышения эффективности ГТМ линейной части МГ заключается в использовании продуцируемой информации для принятия управленческих решений по планированию восстановительных работ на поврежденных участках и значительное снижение общего количества участков в ненормативном состоянии. Кроме того, поскольку развитие

внешней коррозии стенки трубопровода является следствием геотехнических повреждений трассы, то эффективный геотехнический мониторинг - это диагностический инструмент, являющийся предвестником будущих коррозионных дефектов [6-8].

Проведенный авторами научно-технический анализ описанных выше материалов позволил установить прямую зависимость между степенью поврежденности трассы и обнаруженными дефектами стенки трубы в виде наружной коррозии по данным внутритрубной диагностики исследуемого МГ за 2013 г. Абсолютное совпадение отмечалось на участках трубопровода, проходящего через границы повреждений, где грунтовая среда меняет свои электрохимические свойства и запускается локальный процесс коррозии.

### Список литературы

1. Кушнир С.Я., Карнаухов М.Ю., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Анализ пространственных перемещений магистральных газопроводов с определением граничных зон//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2011. № 5. С. 72-75.
2. Карнаухов М.Ю., Лазарев С.А., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Исследование процесса формирования эксплуатационного положения протяженных участков МГ Уренгой – Челябинск в сложных гидрогеологических условиях//Газовая промышленность. 2015. № S724 (724). С. 53-58.
3. Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Карнаухов М.Ю., Лазарев С.А. Проблемы внедрения систем геотехнического мониторинга на объектах газотранспортной системы ОАО «Газпром»//Геотехника. 2014. № 5/6. С. 77-83.
4. Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Гербер А.Д., Карнаухов М.Ю. Методика обработки данных мониторинга пространственного положения эксплуатируемого участка подземного магистрального газопровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Уфа: Изд-во ИПТЭР, 2013. Вып. 3 (93). С. 58-66.
5. Алескерова З.Ш., Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Казакова Н.В. Оценка эффективности геотехнического мониторинга магистральных газопроводов по качеству продуцируемой информации//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 3. С. 81-86.
6. Марков Е.В., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Анализ типовых методик расчета глубины протаивания вечномерзлых грунтов под трубопроводами//Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 142.
7. Марков Е.В., Пульников С.А., Гербер А.Д. Проблемы задания граничных условий при моделировании теплового взаимодействия «горячих» трубопроводов с многолетнемерзлыми грунтами//Фундаментальные исследования. 2015. № 2-10. С. 2106-2110.
8. Вагнер В.В., Пульников С.А., Кушнир С.Я. Распределение стрелы прогиба арочного выброса по длине подземного газопровода//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2008. № 4. С. 101-105.

## **ПРИМЕНЕНИЕ "СУХОЙ ВОДЫ" В АДСОРБЦИИ ПРОПАНА И ВОДОРОДА**

*Д.Е. Анфёров, В.Д. Шантарин, М.Ю. Земенкова*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Проблемы утилизации нефтешламов имеет большое не только экологическое, но и экономическое значение для всех развитых стран мира. Только в России ежегодно, по оценкам экспертов, теряется более 25 млн. т. нефти и 12 млн.т. нефтепродуктов, из которых собирается и перерабатывается менее 10 %. Потребности человечества в природных ресурсах непрерывно растут, их стоимость постоянно повышается. Одним из направлений сокращения потребления природного сырья является использование потенциала материальных ресурсов, накопленных в отходах, в том числе и в нефтешламах.

Состав и физические свойства отработанной и загрязнённой нефти, может варьироваться в зависимости от источника. Важным объединяющим фактором является то, что все нефтешламы содержат как воду, так и твёрдые примеси. Зачастую они образуют стойкую не расслаивающую эмульсию. Это затрудняет процесс разделения, и большинство стандартных методов, которыми регенерируются нефтешламы, не справляются полностью с поставленной задачей. Отстаивание является медленным и неэффективным процессом, который требует большие площади для отстойников и увеличенные дозы дорогих химикатов. Фильтрация через пресс делит нефтешламы на две части – отделяет примеси от жидкой составляющей, а также имеет низкую пропускную способность. Кроме того, этот процесс оставляет нерешённой проблемы утилизации отфильтрованного материала и отделение воды. Сжигать нефтешламы вместе с водой и механическими примесями является дорогим процессом, при котором ценная углеводородная составляющая безвозвратно уничтожается.

Все выше указанные методы переработки нефтеотходов, содержат следующие недостатки: низкая экологическая безопасность, сложность технического решения, высокие энергетические затраты, отсутствие конечных товарных продуктов.

Противоречие между всевозрастающим строительством нефтяных и газовых скважин, увеличением промысловой эксплуатации месторождений и истощенной возможностью безопасного складирования и хранения отходов на поверхности Земли приводит к проблеме создания эффективных технологий переработки углеродосодержащих отходов.

Одним из самых перспективных направлений «борьбы» с нефтешламами с точки зрения, как экологической безопасности, так и получения вторичных полезных продуктов является пиролиз. Он даёт возможность экономически выгодно, экологически чисто и технически относительно

просто перерабатывать нефтяные отходы. Как показал анализ состояние проблемы и проведенные нами исследования, обращение с нефтеотходами должно включать разработку экономически доступных и технически осуществимых технологий для вовлечения отходов в ресурсооборот. Необходимо разработка подходов, позволяющая решать проблему утилизации нефтеотходов не только традиционными деструктивными способами, но и методами повышения потребительских свойств.

Новизна исследования заключается в модернизации пиролизного метода утилизации нефтешламов и нефтезагрязнённых земель без доступа воздуха в реакторе с применением электродугового разряда при повышении потребительских свойств, вовлеченных в ресурсооборот отходов [1]. Удалось выявить условия реализации особо эффективных режимов процесса, при которых происходит экономичное преобразование содержащихся в отходах горючих веществ в газообразные высококалорийные энергоносители, которые можно хранить и транспортировать, а также использовать для собственных нужд на месторождениях.

Глубокая степень переработки углеродной составляющей вследствие применения технологии высокотемпературной пиролизной утилизации шламов позволяет изменить объемное соотношение состава продуктов пиролиза в сторону увеличения газовой фазы за счет снижения образования твердой и жидкой фракций. Наибольшую концентрацию в газообразных продуктах имеют водород, монооксид углерода, метан, пропан, бутан. Высокая теплопроводная способность многокомпонентного состава газа позволяет использование его на нужды промыслов на месте добычи в качестве топлива для выработки тепловой, электрической или механической энергии, сжигание в котельных для теплоснабжения производственных зданий и сооружений, расположенных на месторождении. Благодаря применению газа можно осуществить замену электроприводов на газотурбинные приводы: на транспортных компрессорных станциях, блочных кустовых станциях, штанговых глубинных насосных установках, а также использовать при выработке тепловой энергии для подогрева нефти.

Предположительно для хранения и транспортировки получаемого высокотемпературным пиролизным методом высококалорийного газа можно использовать газогидратные технологии с применением гидрофобных нанопорошков. К таким нанопорошкам можно отнести «сухую воду», представляющую собой микроскопические капли воды в кремниевой оболочке, которую создали британские химики совместно с китайскими коллегами. «Сухая вода» - уникальный материал, состоящий из капель воды размером около микрона, которым не дают слиться гидрофобные кремниевые наночастицы. Каждая частичка «сухой воды» содержит капельку воды, покрытую слоем песчаного кремнезема, поэтому на 95 % состоит из обычной воды и на 5 % из диоксида кремния. Каждая капля воды обволакивается в кремневой оболочке, и с виду это вещество напоминает сахарную пудру. «Футляр» для капель состоит из гидрофобных частиц, которые не дают воде слиться. «Сухая вода» способна впитывать значительные количества газа с образованием молекул гидрата, в 6

граммах этого порошка может сохраняться до 1 литра газа (Andrew Cooper, University of Liverpool). Это соотношение, по словам ученого, достигло уровня для экономически выгодного хранения. Порошок сухой воды получается из очень дешевых исходных материалов, что выгодно отличает его от других кандидатов на роль химического хранилища высококалорийного газа.

Существующая проблема нестабильности такой системы была позже решена сотрудниками Института криосферы Земли [2]. Тюменские разработчики научились получать стабильную сухую воду, на которую не оказывают влияние негативные факторы. Что является потенциальным средством для получения искусственных газовых гидратов и их последующей транспортировки. Для проведения эксперимента нами были отобраны два компонента из состава смеси газа, полученного пиролизным методом утилизации нефтешламов в реакторе без доступа кислорода. Исследование адсорбции газов на «сухой воде» проводились газохроматографическим методом.

**Оборудование и материалы.** Газовый хроматограф модель 3700, бюретка, газ -  $H_2$  (водород) и пропан ( $C_3H_8$ ).

#### **Описание хода работы:**

Газовый хроматограф представляет собой статическую установку. Измерения проводились с помощью детектора ДТП (катарометра) устройства, основанного на измерении теплопроводности газов. Газохроматографическую колонку заполняли частицами исследуемого вещества и взвешивали до и после окончания измерений.

Определение изотермы адсорбции проводили по десорбционной ветви элюиционного пика, для этого устанавливали зависимость между площадями полос и их высотами.

Если количество адсорбированного вещества выразить в моль на грамм адсорбента, то

$$a_i = \frac{g_{np} Q_{adc}}{MgQ}, \quad (1)$$

где  $M$  – молекулярная масса сорбата (моль/г),  $g$  – масса адсорбента (г),  $Q$  – площадь пика ( $см^2$ ),  $Q_{adc}$  – сумма площадей полос ( $см^2$ ),

Парциальное давление сорбата в газовой фазе:

$$p_i = \frac{g_{np} BRT h_i}{MV_{\alpha} Q}, \quad (2)$$

Здесь  $V_{\alpha}$  – расход газа носителя (гелия) в колонке ( $см^3/мин$ ),  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль.град),  $B$  – скорость картограммы самописца ( $см/мин$ ),  $T$  – температура ( $^{\circ}K$ ), при которой проводят измерения.

Концентрация сорбата  $c$  ( $г/см^3$ ) в газовой фазе определяется из выражения:

$$c_i = \frac{g_{np} B h_i}{V_{\alpha} Q} \quad (3)$$

Расчет концентрации сорбата с проводили на примере обработки хроматограммы пропана (см. рис.1).

Процедура расчета. Разделим площадь, ограниченную ординатой точки  $L_0$ , нулевой линией, десорбционной ветвью пика и абсциссой максимума, на 10 полос. Высота пика 22,8 см, высота каждой из полос  $\Delta h = 2,28$ . Умножаем высоту пика  $\Delta h$  на масштаб, в котором сделана хроматограмма (в данном случае 64). Если аппроксимировать каждую из полос трапецией (верхнюю-треугольником), то площадь может быть вычислена как произведение  $L_i \Delta h$  ( $L_i$ -средняя линия трапеции).

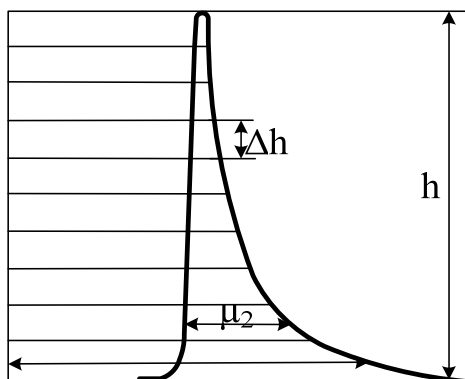


Рис.1. Хроматограммы пропана.

В таблице 1 и в 2 даются результаты измерения  $L_i$  и определения произведений  $L_i \Delta h$  и сумм площадей и высот полос (начиная с нижней). Кроме того, для определения площади пика измерены длины полос, ограниченных адсорбционной и десорбционной ветвями пика  $\mu_i$

Таблица 1

Расчётные параметры для построения изотермы адсорбции пропана

| № полосы | $L_i$ , см | $\mu_i$ , см | $h_i$ , см | $L_i \Delta h$ см <sup>2</sup> | Qадс см <sup>2</sup> |
|----------|------------|--------------|------------|--------------------------------|----------------------|
| 1        | 14,4       | 11           | 9338,88    | 134479,9                       | 134480               |
| 2        | 11,45      | 7,7          | 18677,8    | 106930,2                       | 241410               |
| 3        | 10,25      | 6,3          | 28016,6    | 95723,52                       | 337134               |
| 4        | 9,5        | 5,35         | 37355,5    | 88719,36                       | 425853               |
| 5        | 8,95       | 4,6          | 46694,4    | 83582,98                       | 509436               |
| 6        | 8,4        | 3,9          | 56033,3    | 78446,59                       | 587882               |
| 7        | 7,95       | 3,05         | 65372,2    | 74244,1                        | 662127               |
| 8        | 7,5        | 2,6          | 74711      | 70041,6                        | 732168               |
| 9        | 7,1        | 2            | 84049,9    | 66306,05                       | 798474               |
| 10       | 6,6        | 1,15         | 93388,8    | 61636,61                       | 860111               |

Сумма  $\mu_i$  равна 47,7см. Таким образом, площадь пика (учитывая масштаб хроматограммы 64) равна  $Q = \Delta h \sum \mu_i = 6953,08 \text{ см}^2$ . Молекулярная масса пропана  $M(C_3H_8) = 44,1 \text{ г/моль}$ . Масса пробы  $g_{пр} = 5,38 \cdot 10^{-5} \text{ г}$ .

Таблица 2

Расчётные параметры для построения изотермы адсорбции водорода

| $a_i, \text{ моль/г}$ | $p_i, \text{ Па}$     | $c, \text{ г/см}^3$ | $V, \text{ см}^3/\text{г}$ |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|
| $1,856 \cdot 10^{-4}$ | $2,767 \cdot 10^{-3}$ | $4,9 \cdot 10^{-5}$ | 4,165                      |
| $3,332 \cdot 10^{-4}$ | $5,535 \cdot 10^{-3}$ | $9,9 \cdot 10^{-5}$ | 7,477                      |
| $4,653 \cdot 10^{-4}$ | $8,302 \cdot 10^{-3}$ | 0,00015             | 10,442                     |
| $5,878 \cdot 10^{-4}$ | $1,107 \cdot 10^{-2}$ | 0,0002              | 13,189                     |
| $7,031 \cdot 10^{-4}$ | $1,384 \cdot 10^{-2}$ | 0,00025             | 15,778                     |
| $8,114 \cdot 10^{-4}$ | $1,660 \cdot 10^{-2}$ | 0,0003              | 18,208                     |
| $9,139 \cdot 10^{-4}$ | $1,937 \cdot 10^{-2}$ | 0,00034             | 20,507                     |
| $1,011 \cdot 10^{-3}$ | $2,214 \cdot 10^{-2}$ | 0,00039             | 22,676                     |
| $1,102 \cdot 10^{-3}$ | $2,491 \cdot 10^{-2}$ | 0,00044             | 24,730                     |
| $1,187 \cdot 10^{-3}$ | $2,767 \cdot 10^{-2}$ | 0,00049             | 26,639                     |

По полученным данным построены изотермы адсорбции пропана (рис.2) и водорода (рис.3)

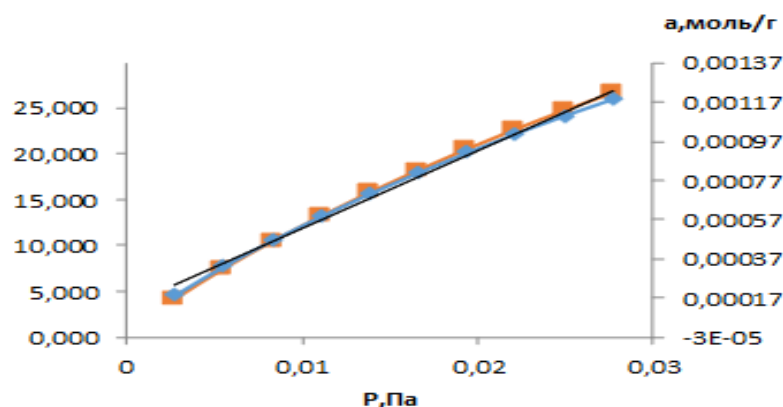


Рис.2. Изотерма адсорбции пропана на сухой воде

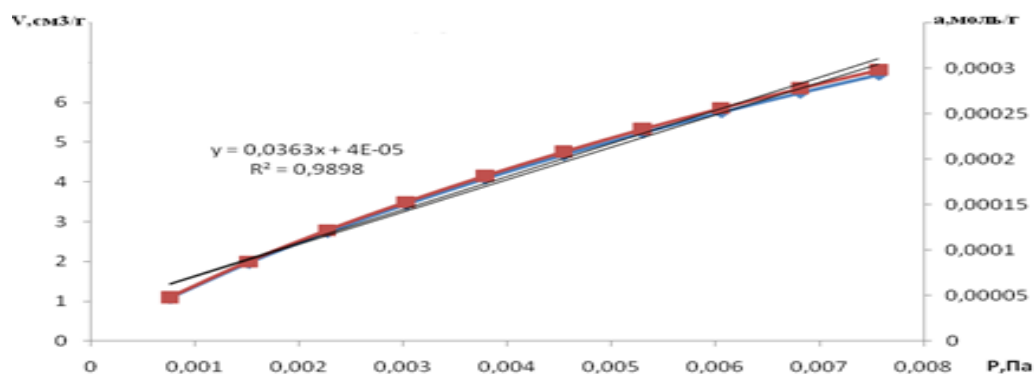


Рис. 3. Изотерма адсорбции водорода на сухой воде



При экспериментальном исследовании нами были получены результаты, описываемые теорией мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Она основана на следующих допущениях: поверхность адсорбента однородна, взаимодействие между адсорбированными молекулами отсутствует, адсорбция протекает лишь до образования монослоя, то есть каждый центр может присоединить только одну частицу, процесс динамичен и при заданных условиях устанавливается равновесие между адсорбцией и десорбцией, при уменьшении давления будет увеличиваться активность десорбции.

Исследована кинетика адсорбции высококалорийных газов (пропан, водород) на «сухой воде» при температуре 25 °С, полученная информационная база данных необходимая для дальнейшего моделирования динамики сорбции газов, обладающих большой теплотворностью.

### Список литературы

1. Шантарин, В. Д., Медведев, А. В. Пиролизный метод утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений / В. Д. Шантарин, А. В. Медведев. –Тюмень, 2005. – 182 с.
2. Мельников, В. П. Замерзание капель воды в дисперсии «сухая вода» / В. П. Мельников, Л. С. Поденко, А. Н. Нестеров и др. // Криосфера Земли – 2011, т. XV, № 2, с. 21–28.
3. Сбор и подготовка нефти и газа: Учебник для студентов высших учебных заведений направления «Нефтегазовое дело»/Земенков Ю.Д. -Москва, 2009.
4. Техника и технологические процессы при транспорте энергоресурсов: Учебное пособие в 2-х томах. Под общей редакцией Ю.Д.Земенкова. -Тюмень: Изд. «Вектор Бук». -2008. -т.1. -380 с.
5. Шпилевой В.А., Курушина Е.В., Земенков Ю.Д. Управление энергоемкостью в условиях российской экономики//Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. -Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. № 3. С. 61-65.
6. Шантарин, В. Д., Медведев, А. В. Пиролизный метод утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений / В. Д. Шантарин, А. В. Медведев. –Тюмень, 2005. – 182 с.
7. Шиповалов А.Н., Земенков Ю.Д., Торопов С.Ю., Дудин С.М., Курушина Е.В., Гульков А.Н., Акулов К.А. Организация эффективного аккумулирования энергоресурсов в системах трубопроводного транспорта. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова -СПб.: Недра, 2006 -208 с.
8. Kurushina V., Zemenkov Y. Innovative cyclical development of the Russian pipeline system//WIT TRANSACTIONS ON ECOLOGY AND THE ENVIRONMENT.-2014.-190 VOLUME 2. -Pp. 881-888.

УДК 620.197.6:622.692.4

## СИЛИКАТНО-ЭМАЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

*В.Н. Артюшкин*

*Самара, Самарский государственный технический университет*

На нефтепромыслах в системах сбора и подготовки нефти и поддержания пластового давления по трубопроводам перекачиваются жидкости с

высокой коррозионной активностью. Последние десятилетия характеризуются вводом в эксплуатацию нефтяных и газовых месторождений, содержащих повышенное количество сероводорода, углекислого газа и других агрессивных компонентов, вследствие чего возрастает опасность коррозионного разрушения трубопроводов, сокращение срока их службы, увеличение эксплуатационных расходов.

Мировая практика защиты труб от коррозионного разрушения накопила значительный опыт по применению мастичных, полимерных, лакокрасочных, силикатных и других видов покрытий.

Основные требования к защитным покрытиям:

- покрытие должно быть сплошным и беспористым;
- обладать химической устойчивостью и долговечностью;
- иметь хорошую адгезию к металлу;
- предотвращать отложения различных продуктов;
- защищать металл от коррозии;
- уменьшать гидравлическое сопротивление при движении продуктов транспортировки.

Особый интерес представляют стеклоэмалевые или, как сейчас их принято называть, силикатно-эмалевые покрытия, обладающие повышенной коррозионной стойкостью к агрессивным средам, содержащим кислород, сероводород, углекислоты с высокой степенью минерализации и температур. Отличительной особенностью силикатно-эмалевых покрытий является то, что их удельная теплопроводность и коэффициент температурного расширения такие же, как у металла. Поэтому перепады температур трубопроводов не приводят к разрушению эмалевых покрытий, что важно, например, для криволинейных участков трасс. Эти покрытия отличаются влагонепроницаемостью, зеркально гладкой поверхностью, высокой адгезией с металлом.

Кроме этого, использование эмалированных труб при прокладке трубопроводов позволяет:

- снизить абразивный износ и уменьшить образование на стенках отложений парафина, продуктов полимеризации и других осадков, обеспечивая высокое качество и чистоту транспортируемого продукта;
- увеличить пропускную способность трубопровода за счет гладкости покрытия, что дает возможность использовать трубы меньшего диаметра и снизить расход электроэнергии на транспортировку до 20%;
- исключить потери перекачиваемого продукта из-за частого ремонта трубопроводных систем и уменьшить вероятность загрязнения окружающей среды, экологических катастроф.

Силикатно-эмалевое покрытие может наноситься на трубы, поставляемые по ГОСТ 10704-91, ГОСТ 10705-80, ГОСТ 10706-74, ГОСТ 8731-74, ГОСТ 10707-80, ГОСТ 10692-80, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 20295, ТУ 102-39-84, ТУ 14-3Р-13-95, ТУ 33-18-87, ТУ 14-3-1399-86, ТУ 14-3-377-75, ТУ 14-943-80 с прочностью не выше K52.

По договоренности с Заказчиком стеклоэмалевое покрытие может наноситься на трубы более высокой прочности, а также на трубы, изготовленные по другим ГОСТам и ТУ [4,5].

Для эмалирования стальные трубы должны иметь следующие номинальные размеры:

- наружный диаметр – 80 - 426 мм
- длина – 6,0 - 11,7 м
- толщина стенок трубы – 2,0 - 10,0 мм

Силикатно-эмалевое покрытие может наноситься и на соединительные детали - фитинги (тройники, отводы, переходники, заглушки), покрытие эффективно и для трубопроводной арматуры (рис.1).

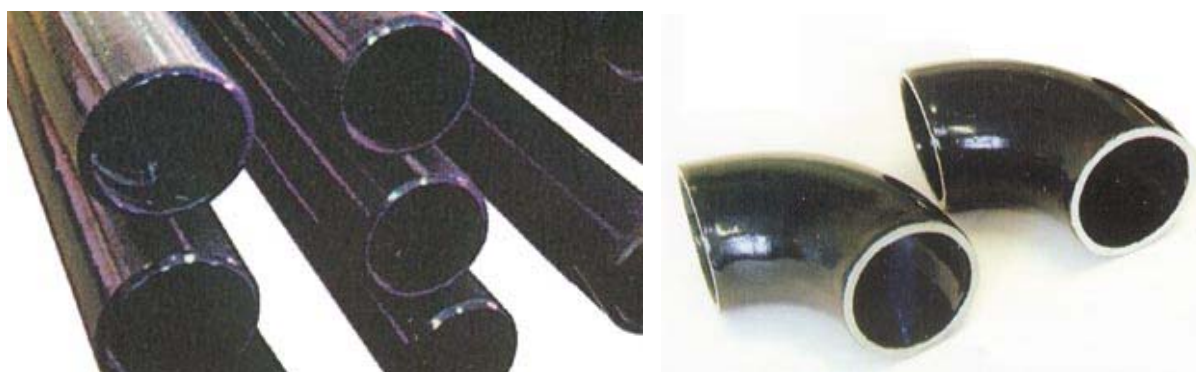


Рис. 1. Внешний вид труб и отводов с силикатно-эмалевым покрытием.

Нефтепроводные эмалированные трубы могут быть использованы для строительства технологических, нефтепромысловых трубопроводов категории I-II-III-IV, нефтепроводов и продуктопроводов в соответствии с РД-39-132-94 «Правила по эксплуатации, ремонту и отбраковки промысловых трубопроводов», а так же применяться как обсадные и насосно-компрессорные трубы.

Силикатная эмаль – затвердевшая неорганическая масса, преимущественно стеклообразная, состоящая из оксидов, основой которой является кремнезем. Эта эмаль одним или несколькими слоями наплавляется на металлическое изделие, например, на стальные трубы и фасонные изделия.

В настоящее время применяют безгрунтовое эмалирование труб с использованием силикатной эмали (фритты) на основе стекол системы  $R_2O-RO-B_2O_3-SiO_2-F$ .

Технологический процесс эмалирования стальных труб с использованием индукционного или печного нагрева предусматривает внутреннее и двухстороннее эмалирование. Силикатно-эмалевое покрытие наносится на трубы мокрым (шликерным) способом.

Технологический процесс эмалирования включает в себя:

- приготовление эмалевой суспензии из фритты – шликера;

- подготовку поверхности труб или фасонных изделий, включающую черновой обжиг при температуре 600-700 °С, дробеструйную очистку и обеспыливание поверхности;
- нанесение эмалевого шликера при вертикальном положении труб;
- сушку нанесенного шликера при температуре около 60-100 °С;
- обжиг при температуре 750 – 900 °С;
- естественное охлаждение при температуре воздуха цеха;
- зачистку торцевых поверхностей труб (фасок под сварку) от наплывов эмали;
- контроль качества и упаковку.

Общая толщина силикатно-эмалевого покрытия должна быть не менее 0,4 мм при двухслойном нанесении [6]. На рис. 2 представлена поточная линия эмалирования труб [7].

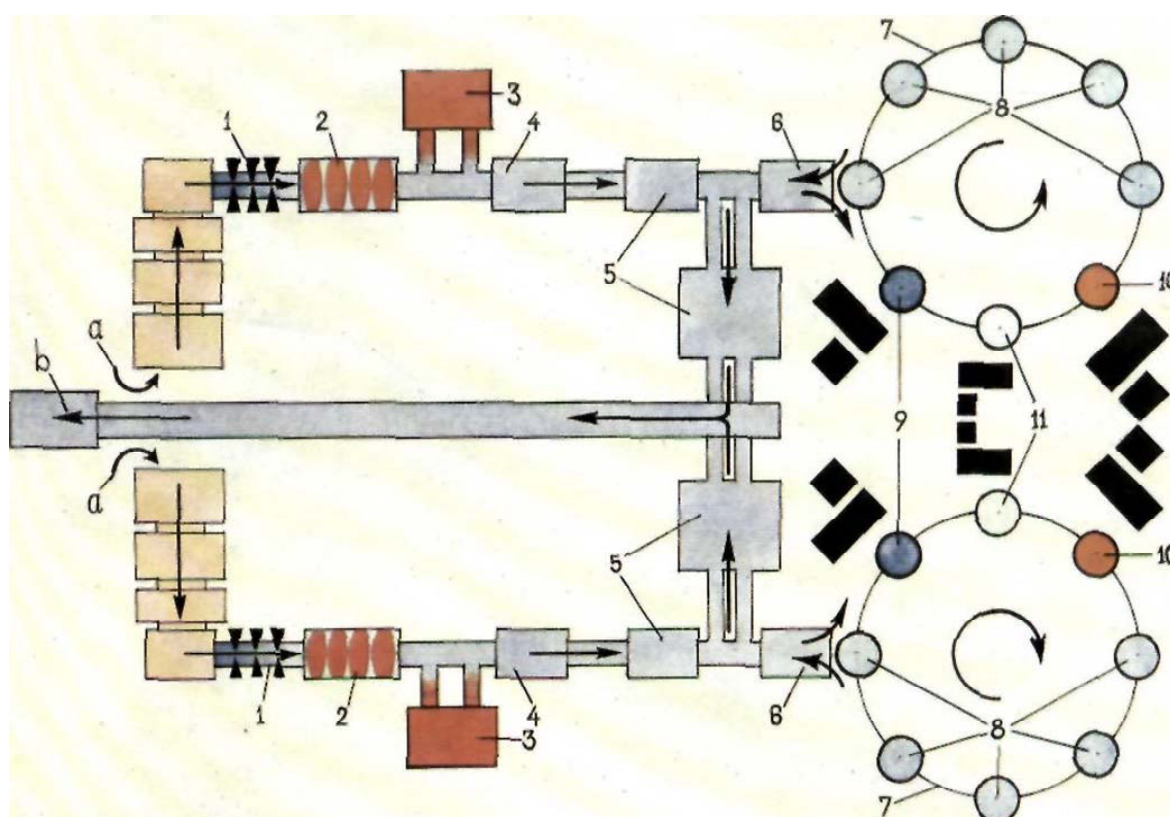


Рис.2. Принципиальная схема поточной линии эмалирования труб:

а - черная труба; в - на склад.

- 1 – конвейер подачи черных труб; 2 – индуктор обжига; 3 – дробеструйная камера; 4 – камера обеспыливания (пылесос); 5 – пост контроля качества; 6 – вертикальный подъемник; 7 – карусельная установка для подвески и перемещения труб; 8 – гнездо для охлаждения; 9 – гнездо для нанесения шликера; 10 – гнездо для обжига; 11 – гнездо для сушки.

Авторы статьи [1] организовали производство эмалированных труб совместно с руководством завода «Пензаводпром» после проведения реконструкции поточной линии эмалирования, подогнав её под размеры

нефтепроводных труб, выпускаемых Выксунским металлургическим заводом. Первое применение эмалированных труб диаметром 325мм в промысловых условиях было осуществлено в НГДУ «Кинельнефть» в системах трубопроводов поддержания пластового давления на Козловском месторождении Самарской области [1].

Давление в промысловых трубопроводах НГДУ достигало 13 МПа, pH = 4-11, содержание сероводорода до 200 мг/л, углекислого газа до 700 мг/л и общая минерализация составляла 60000 мг/л. Через 5 лет эксплуатации на опытном трубопроводе не было обнаружено коррозионных повреждений. Ранее на этих участках трубопроводов наблюдались свищи от коррозии уже через полгода от большого содержания сероводорода. Затем эмалированные трубы стали использовать в НГДУ «Первомайнефть» и НГДУ «Жигулевскнефть». В г. Похвистнево Самарской области был создан цех по эмалированию нефтепроводных труб силами ОАО «Самаранефтегаз».

Однако при строительстве трубопроводов из эмалированных труб возникла проблема защиты внутренней поверхности сварного шва.

Для решения этой проблемы, например, на производственной базе НПК «Вектор» был создан участок, где к трубам с внутренним силикатно-эмалевым покрытием приваривали кольца из нержавеющей стали. Сварной шов кольца и трубы дополнительно эмалируется. Затем, в полевых условиях при строительстве трубопроводов для соединения труб производилась только сварка нержавеющей колец специальным электродом.

Авторами работ [1, 2, 3] была разработана более простая и дешевая технология защиты внутреннего сварного шва в полевых условиях. Технология заключалась в предварительном нанесении узких кольцевых полосок загущенного эмалевого шликера на внутренние торцовые зоны свариваемых труб с добавлением в него силикатного клея. После подсушки слоя эмали стык сваривали при соответствующих режимах ручной дуговой сварки. Нанесенный эмалевый слой шликера при этом, расплавляясь, покрывал внутреннюю поверхность сварного шва. Добавка силикатного клея в шликер повышала поверхностное натяжение расплавленной эмали, что не позволяло ей стекать сверху. Это особенно важно при сварке неповоротных стыков.

Однако этот метод не давал полной гарантии защиты внутреннего сварного шва, так как многое зависело от умения сварщика. Поэтому было предложено уже на заводе, после эмалирования всей поверхности трубы, дополнительно наносить утолщенный кольцевой слой эмали на внутреннюю поверхность у торца трубы на специальном стенде. Созданное утолщение покрытия позволяло, расплавляясь при сварке труб, покрыть внутренний сварной шов и исключало необходимость нанесения шликера в полевых условиях.

Для стационарных, а в впоследствии и для полевых условий авторами [1] совместно с инженерами Поволжского АТНЦ была разработана технология контактной сварки эмалированных труб.

Торцы труб сжимаются создаваемым осевым усилием и свариваются индукционным методом. Действующая лабораторная установка показала эффективность предложенного способа и надежную защиту внутреннего сварного шва (рис. 3).



Рис. 3. Образец труб с внутренним стеклоэмалевым покрытием, сваренных методом контактной сварки

При дальнейшем совершенствовании процессов эмалирования и проектировании нестандартного оборудования при производстве труб со силикатно-эмалевым покрытием планируется использование патентных материалов [2, 3]. По данным лабораторных и промышленных исследований силикатно-эмалевое покрытие, при толщине на трубах 300 - 400 мкм, может обеспечить защиту основного металла труб от коррозии примерно на 40 лет.

#### Список литературы

1. А.А. Воробьев, В.Н. Артюшкин, Ю.М. Давыдов. Эмалированный трубопровод – надежная защита от коррозии. Нефтяное хозяйство, № 6, 1993 г., с.32.
2. Патент № 2034930 «Способ эмалирования внутренней поверхности стальных труб». Авторы: Артюшкин В.Н., Воробьев А.А., Давыдов Ю.М. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 10.05.1995 г.
3. Патент № 2037731 «Способ ремонта трубопровода с комбинированным антикоррозионным покрытием». Авторы: Оловянишников В.Ф., Воробьев А.А., Артюшкин В.Н., Витов В.Ф. и Старченко А.Н. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 19.06.1995 г.
4. Трубы стальные с двухсторонним силикатно-эмалевым покрытием. Технические условия. ТУ 1390-001-01297858-96. Москва, 1996.
5. Трубы стальные с наружным и внутренним силикатно-эмалевым покрытием. Технические условия. ТУ 1308-004-02066613-97. Москва, 1997.
6. ГОСТ Р 51164-98 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии».
7. Индукционное эмалирование труб. Проспект В/О «Лицензиторг»-289007. М.: Внешторгиздат, 1990.



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

*И.В. Артюшкин*

*Самара, ОАО «Гипровостокнефть»*

В нефтедобывающей промышленности часто встречаются процессы, для управления которыми требуется учитывать значения множества технологических параметров. Современные нефтегазодобывающие и перерабатывающие предприятия представляют собой комплекс технологических объектов рассредоточенных на больших площадях, размеры которых достигают иногда сотен квадратных километров. Задача автоматизации имеет своё решение на стыке нескольких областей знаний: нефтехимии, математики, физики, телемеханики, статистики.

Современная автоматизированная система представляет собой многофункциональную систему контроля и управления ходом технологических процессов (АСУТП), использующих новейшие достижения в области информационных систем, современную аппаратную базу и программное обеспечение. Она позволяет контролировать и управлять технологическими процессами, начиная с устья скважины до пункта сдачи товарной нефти в магистральный трубопровод.

Процесс проектирования автоматизированных систем является трудоёмким и затратным по времени. В проектировании принимает участие большое количество специалистов: инженеры, технологи, строители, связисты. Для учёта множества параметров технологического процесса необходимо определить места отбора значений параметров, выбрать технологические оборудование, системы связи для обмена информацией, установить подчинённые и управляющие системы, учесть условия эксплуатации системы, в том числе и климатические.

В процессе проектирования могут возникать различные изменения после уточнения данных, ограничений бюджета, либо невозможности применения каких-либо решений. Оперативное решение таких вопросов на ранней стадии проекта не занимает много времени, однако когда проект уже почти готов, внесение даже незначительных изменений становится сложной задачей, из-за которой могут произойти срывы сроков проектирования.

Проектирование АСУТП нефтегазодобывающего комплекса подчиняется мировым стандартам в области автоматизации. Применение стандартов позволяет снизить затраты на проектирование, капиталовложения и эксплуатационные затраты на обеспечение функционирования систем. Проектирование АСУТП с использованием традиционных средств и тех-

нологий требует значительных трудозатрат, велика вероятность возникновения несистемных ошибок по общей причине, что в значительной мере влияет на эффективность и качество проекта.

С развитием информационных технологий на смену традиционному проектированию постепенно приходят специализированные программы для решения задач проектировщиков. Графические редакторы, такие как КОМПАС [3] и AutoCAD, имеющие многочисленные надстройки для решения определённого круга задач, являются, по сути, продвинутыми инструментами для опытного пользователя. Вся интеллектуальная нагрузка всё равно лежит на проектировщике. Настоящая же автоматизация проектирования включает в себя использование вычислительных возможностей компьютера для решения задач, с которыми проектировщику справиться по каким-либо причинам сложно, либо решение займёт слишком много времени.

Для помощи проектировщикам, сегодня создано множество программных продуктов, которые позволяют быстрее выполнять необходимые расчёты, создавать модели проектируемого объекта, моделировать динамику процессов перекачки нефти, рассчитывать надёжность технологического оборудования [4]. Всё это можно назвать общим выражением: системы автоматизированного проектирования (САПР).

Задача автоматизации технологического проектирования для современного машиностроения является чрезвычайно важной и актуальной. Ее решение обеспечит сокращение сроков внедрения в производство новых проектно-конструкторских разработок и повышение его эффективности. Вместе с тем решение этой задачи связано с определенными трудностями. Это обусловлено как особенностями технологического проектирования, которое традиционно считается творческим процессом, так и возрастающими требованиями современного машиностроительного производства к автоматизированным системам. Современное машиностроительное производство является многономенклатурным, с частой сменой выпускаемых изделий, их повышенной конструктивной сложностью, большим числом оригинальных и уникальных конструкторских решений, реализация которых сопровождается высокими требованиями к качеству, надежности и ресурсу изделий. Повышение конструктивной сложности, качества изделий, быстрое их обновление наблюдается повсеместно во всех машиностроительных областях.

В условиях перехода к рыночной экономике особенно возросли требования к сокращению сроков разработки технологии (технологических процессов и средств их оснащения) при улучшении ее качества.

Осуществление этих требований возможно только на основе широкого применения средств вычислительной техники на всех этапах производства. Особая роль отводится применению ЭВМ в системах автоматизированного проектирования. Эти системы все более широко используются в различных отраслях промышленности. Разработка и широкомасштабное использование САПР в промышленности позволяет снизить затраты на создание



и эксплуатацию проектируемых изделий, повысить производительность труда проектировщиков, конструкторов и технологов, снизить объем проектной документации. Автоматизация проектирования позволяет сделать труд разработчиков более творческим.

Вот уже несколько лет в ОАО «Гипровостокнефть» ведётся внедрение комплексной системы автоматизированного проектирования, Включающую в себя систему управления проектами, САПР для каждого из направлений проектирования, систему документооборота на базе единого хранилища, систему отчётов, печати и других вспомогательных систем.

Для проектирования АСУТП в ОАО «Гипровостокнефть» применяется комбинация программных комплексов, которые в связке позволяют обеспечить автоматизированный вывод 70% проектной документации [1]. Это САПР AutomatiCS, позволяющий создать информационную модель объекта автоматизации с множеством элементов, их параметрами и связями, Model Studio CS Кабельное хозяйство для проектирования кабельных эстакад в трёхмерном виде и Model Studio CS Компоновщик щитов для проектирования трёхмерного расположения внутришкафного оборудования. Структура взаимодействия программ приведена на рисунке 1.

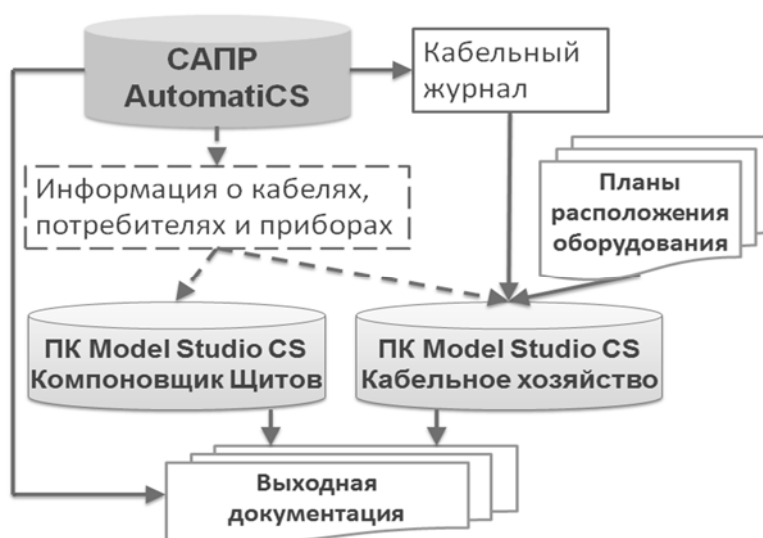


Рисунок 1 – Структура взаимодействия программных комплексов

Основная идея заключается в том, что результаты выполнения проектных процедур в одной программе являются входными параметрами для других. Таким образом, сохраняется связь между информационной моделью проекта в САПР AutomatiCS и 3D моделями в Model Studio CS.

Используя данный способ взаимодействия нескольких САПР было выполнено проектирование объектов автоматизации из проекта магистрального нефтепровода с подключением к трубопроводной системе ВСТО. В таблице 1 приведено сравнение запланированных сроков проектирования и реально затраченного времени.

## Временные затраты на выполнение проекта

| Вид работы                                | С помощью Auto-CAD, чел\час | С помощью комплекса САПР, чел\час |
|-------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Сбор исходных данных                      | 80                          | 80                                |
| Разработка схемы подключения              | 10                          | 10                                |
| Наполнение базы данных оборудования       | -                           | 24                                |
| Создание графических шаблонов             | -                           | 24                                |
| Создание модели проекта                   | -                           | 8                                 |
| Разработка графической документации       | 40                          | 24                                |
| Разработка опросных листов на приборы КИП | 40                          | 16                                |
| Разработка спецификации                   | 48                          | 2                                 |
| Разработка кабельного журнала             | 48                          | 4                                 |
| <b>Итого</b>                              | <b>266</b>                  | <b>192</b>                        |

При выполнении проекта в САПР экономия рабочего времени составила бы около 25%.

Более того, этапы проектирования, характерные для САПР: наполнение базы оборудования и создание графических шаблонов, по мере выполнения проектов при типизации и унификации применённых проектных решений могут быть сокращены. Данные этапы в процессе проектирования заняли 48 чел/час. Таким образом, при накоплении базы данных и знаний, экономия рабочего времени может достигать 40%. А это в итоге означает повышение производительности труда в 1.6 раза. Реальный экономический эффект, выраженный в денежном эквиваленте, в каждом конкретном случае может быть различным. Кроме очевидного экономического эффекта, с использованием САПР приходят также возможности по более качественному сопровождению проекта на всех стадиях, более лёгкому учёту и внесению изменений, а также ведению авторского надзора за счёт наличия информационной модели проекта.

Как показывает опыт, использование систем автоматизированного проектирования позволяет решить ряд важных задач, таких как:

- исключение субъективной ошибки исполнителя при создании проекта;
- быстрое внесение изменений в проект;
- значительное уменьшение трудозатрат за счет автоматической генерации и возможности быстрой редакции выходных документов;
- повышение качества проекта.

### Список литературы

1. Артюшкин И.В. Внедрение комплексной системы автоматизированного проектирования в проектом институте// Вестн. Самар. Гос. техн. ун-та. сер. Технические науки. 2014. № 4 (44), С.7-16.

2. Целищев Е.С., Глянцева А.В. AutomatiCS 2011 – разрабатывать КИПиА просто и эффективно. Часть 1: это действительно САПР // САПР и графика, 2012, № 4, С.76-81.
3. Вайнберг Д. САПР на нефтепромыслах // Intelligent Enterprise, 2001, №18(35)
4. Красковский Д. Г. Обзор состояния рынка систем PLM/TDM/PDM/Workflow // САПР и графика, 2004, № 12

УДК 622.692.4

## ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С АСПО

*А. Ф. Галимов, Т.Г. Донцу, М.Д. Козлов, Л.В. Бондаровская  
Ноябрьск, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Одной из актуальных проблем нефтегазовой отрасли выступает борьба с АСПО. Затраты на удаление АСПО могут достигать 30% от себестоимости продукции. Образование АСПО приводит к снижению производительности системы, уменьшению межремонтного периода работы скважин и эффективности работы насосных установок. Они образуются на забое, призабойной зоне и НКТ. Все это усложняет технологию нефтеобеспечения, повышает стоимость нефти, а скопившиеся в амбарах-хранилищах смолопарафиновые шламы, образовавшиеся при зачистке труб и оборудования, загрязняют окружающую среду, представляют пожароопасность и создают серьезную экологическую проблему.

### **1. Асфальто-смоло-парафиновые отложения (АСПО)**

Представляют собой темно-коричневую, черную твердую или густую мазеобразную массу с высокой вязкостью.

АСПО - это сложная углеводородная смесь, которая содержит парафины(20-70 % по массе), асфальто-смолистые вещества (АСВ) (20-40 % по массе), смолы, а также минеральные вещества в виде растворов солей органических кислот, комплексных соединений или коллоидно-дисперсных минеральных веществ. В состав АСПО может входить вода, в которой растворены соли.

Химический состав АСПО зависит от свойств добываемой нефти, термо- и гидродинамических условий продуктивных пластов, геологических и физически особенностей, способа разработки и эксплуатации месторождений.

### **Парафины**

Парафины – углеводороды метанового ряда от  $C_{16}H_{34}$  до  $C_{64}H_{130}$ . В пластовых условиях находятся в нефти в растворенном состоянии. По их содержанию (по массе) нефти (согласно ГОСТ 912-66) классифицируют на:

- малопарафиновые — менее 1,5 %;
- парафиновые — от 1,5 до 6 %;

высокопарафиновые – более 6 %.

Парафины устойчивы к действию различных химических реагентов легко окисляются на воздухе. Высокомолекулярные парафины – церезины (от C37H74 до C53H108) – отличаются более высокой, чем обычные, температурой кипения, большей молекулярной массой и плотностью.

### **АСВ**

Асфальто-смолистая часть нефтей представляет собой вещество темного окраса, которое частично растворяется в бензине.

Растворившееся часть - асфальтены.

Асфальтены – порошковые вещества бурого или коричневого цвета, плотностью более единицы, массовое содержание которых в нефтях достигает 5,0 %. В асфальтенах содержится (по массе) 80,0-86,0 % углерода, 7,0-9,0 % водорода, до 9,0 % серы, 1,0-9,0 % кислорода и до 1,5 % азота. Они обладают способностью набухать в растворителях, а затем переходить в раствор.

Смолы в процентном соотношении углерода (79-88%), водорода (9-11%), кислород (1-7%), серы (7-10%). Смолы содержат от 70 до 90% всех гетеро органических соединений. Смола не растворяется в бензине, и являются полярными веществами с относительной молекулярной массой 500-1200. В них содержатся основное количество кислородных, сернистых и азотистых соединений нефти.

Смолисто-асфальтовые вещества в топливах и смазочных маслах ухудшают цвет, увеличивают нагарообразование, понижают смазочную способность масел. Смолисто-асфальтовые вещества отравляют катализаторы, вызывают закоксовывание аппаратуры при переработке нефти.

При эксплуатации масла АСВ повышают его склонность к осадкообразованию. Эти осадки вызывают лакообразование и отложение нагара, что нарушает работу механизма и приводит к быстрому износу.

Основными факторами, влияющими на образование АСПО, являются:

- снижение давления на забое;
- интенсивное газовыделение;
- уменьшение температуры в пласте и стволе скважины;
- изменение скорости движения газожидкостной смеси и отдельных ее компонентов;
- состав углеводородов в каждой фазе смеси;
- соотношение объема фаз;
- состояние поверхности труб.

### **2. Методы борьбы с АСПО:**

- Тепловой
- Механический
- Химический
- Физический

Проанализировав все методы, был выявлен наиболее эффективный метод.

На ЯНАО методом борьбы с АСПО является - механический.

Механические методы являются наименее затратными по сравнению с другими. Для механической очистки подъёмных труб от парафина применяют скребки, которые, перемещаясь вдоль колонны труб, срезают с них отложения парафина.

Скребки различных конструкций, спускаемые в скважину на проволоке, могут иметь постоянное сечение и переменное.

#### **Скребок постоянного сечения**

Срезает парафин заостренными кромками корпуса при движении и вверх и вниз. Наружный диаметр таких скребков на 1.5-2 мм меньше диаметра подъёмных труб. Конструкция скребка позволяет свободно проходить восходящему потоку жидкости.

Недостатком скребка этой конструкции является необходимость делать частые спуско-подъёмы скребка во избежание образования слоя парафина толщиной более 0,7 мм. Задержка по каким-либо причинам очередного спуска-подъёма скребка приводит к тому, что на стенках труб успевает отложиться слой парафина большей толщины, и дальнейший спуск скребка будет затруднён или вовсе невозможен. Чтобы устранить этот недостаток, были разработаны различные конструкции скребков переменного сечения.

#### **Скребки переменного сечения**

Можно спускать при большем запарафинивании труб, поэтому число спуско-подъёмов их сокращается. Этот скребок состоит из двух фигурных ножей – одного неподвижного, укреплённого на плоской металлической пластине, и второго подвижного, который может передвигаться на некоторое расстояние по наклонной линии вверх или вниз, что достигается при помощи двух штифтов, укреплённых в пластине, и прямоугольных пазов на подвижном ноже.

Спуск и подъём скребков на проволоке производят при помощи лебёдки, при этом устье скважины оборудуется лубрикатором с сальником, позволяющим свободно проходить через него проволоке при герметизированном устье скважины. Глубину спуска скребка для каждой скважины подбирают индивидуально. Надёжность таких систем для удаления АСПО очень низкая, так как кроме НКТ происходит запарафинивание штанг и последующее их заклинивание со сломом пластинчатых скребков.

К недостаткам механической очистки подъёмных труб от парафина следует отнести то, что у каждой скважины приходится иметь дополнительное оборудование, которое необходимо обслуживать и которое является источником дополнительных неполадок при эксплуатации скважин. Ведь в результате обрыва проволоки скребок остаётся в трубах. Для его извлечения приходится поднимать

трубы, что ведёт к остановкам скважин и потерям в добыче нефти. Также к недостаткам следует отнести и то, что применение скребков решает задачу борьбы с АСПО только в подъёмных трубах, в то время как снижение дебита скважины имеет место также из-за отложений в выкидной линии.

### **3. Заключение**

Механический метод, является одним из наиболее эффективных и не дорогостоящих методов.

В последние годы вместо металлических пластинчатых скребков на штангах укрепляют пластиковые скребки. Они одновременно играют роль центраторов.

Мы считаем, что стоит большое внимание уделить разработке методов по предупреждению образования АСПО. Это уменьшит износ оборудования, затраты на ремонт, а так же решит экологические проблемы связанные с удалением отложений.

### **Список литературы**

1. Технологии борьбы с отложениями парафина скважинах НГДУ “Речицанефть” по различным способам добычи [Электронный ресурс]. - Электрон. дан.- URL: <http://ref.moy.su/publ/21-1-0-125> (Дата обращения 3.05.2015)
2. Асфальтосмолопарафиновые отложения в нефтепроводах [Электронный ресурс]. - Электрон. дан.- URL: <http://nefrussia.ru/asfaltosmoloparafinovye-otlozheniya-v> (Дата обращения 3.05.2015)
3. Овчар Е. В. Ингибирование образования асфальто-смоло-парафиновых отложений в нефтях [Электронный ресурс]. - Электрон. дан.- URL: <http://www.dissercat.com/content/ingibirovanie-obrazovaniya-asfalto-smolo-parafinovyx-otlozhenii-v-neftyakh> (Дата обращения 3.05.2015)
4. Асфальто-смолистые вещества [Электронный ресурс]. - Электрон. дан.- URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=660389> (Дата обращения 3.05.2015)
5. Эффективность методов борьбы с асфальтосмолистыми парафиновыми отложениями в условиях НГДУ Нурлатнефть [Электронный ресурс]. - Электрон. дан.- URL: <http://xreferat.ru/20/691-2-effektivnost-metodov-bor-by-s-asfal-tosmolistymi-parafinovymi-otlozheniyami-v-usloviyah-ngdu-nurlatneft.html> (Дата обращения 3.05.2015)

УДК 622.692.4

## **ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА УТЕЧЕК НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ**

*Е. А. Гильмияров, И. Г. Силина*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Одними из наиболее острых вопросов эксплуатации нефте- и нефтепродуктопроводов являются обнаружение утечек и оценка объема вытекшей нефти. На настоящий момент не разработана исчерпыва-

ющая методика, дающая наименьшую погрешность и при том позволяющая оперативно применять её во время возникновения утечек на производственных объектах.

В данной статье для сравнения взяты три методики определения объема утечек: методика АО «АК «Транснефть», методика, разработанная коллективом авторов ТюмГНГУ под руководством В.Н. Антипьева и Ю.Д. Земенкова, а также методика, разработанная под руководством М.В. Лурье.

Методика АО «АК «ТН» представлена в документах «Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» и «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах». [1], [2] Согласно данным документам выделяют три этапа аварийных утечек нефти:

- 1) истечение нефти с момента повреждения до остановки перекачки;
- 2) истечение нефти из трубопровода с момента остановки перекачки до закрытия задвижек;
- 3) истечение нефти из трубопровода с момента закрытия задвижек до прекращения утечки.

Основой для расчета объема утечек являются приведенные 12 сценариев развития аварий, которые зависят от вида повреждения стенки трубопровода (свищ, трещина, гильотинный разрыв сварного шва) и успешности и оперативности проведения работ по устранению утечки.

Данный метод позволяет оценить полный объем (массу) потерь нефти или нефтепродукта при аварийной утечке, учитывая испарения с поверхности нефти. Вместе с этим определяется экологический ущерб земляным и водным объектам, а также ущерб от выброса нефтепродукта в атмосферу. Возможность широкого применения методики на практике обусловлена рядом расчетных упрощений.

Однако такие упрощения приводят к тому, что при оценке объема утечки не учитывается ряд важных факторов, что является причиной значительной погрешности, которая может достигать 200%. Например, формы повреждений в методике ограничиваются вытянутыми в одном направлении, несмотря на то, что отверстия круглой (овальной) формы являются довольно распространенными. Также в методике не рассмотрен вопрос утечек из нефтепровода при нестационарном режиме работы нефтепровода.

В методике, разработанной под руководством В.Н. Антипьева и Ю.Д. Земенкова, условно выделяют пять этапов истечения нефти через повреждение: [3]

- 1) истечение нефти до отключения насосной станции;
- 2) истечение нефти при инерционном режиме работы перекачивающих агрегатов;
- 3) истечение нефти с понижением давления в трубопроводе до давления упругости паров нефти и выделением легких фракций;

- 4) самотечное истечение за счет гидростатического столба жидкости;
- 5) принудительное опорожнение трубопровода с целью обеспечения безопасности производства ремонтно-восстановительных работ.

Данная методика учитывает более широкий спектр факторов, влияющий на истечение нефти из поврежденного трубопровода, например, форму и размер отверстия, газонасыщенность нефти и т.п. В то же время, использование усложненных расчетных формул, предназначенных для ЭВМ, наряду с невозможностью получения некоторых исходных данных непосредственно в момент аварийного истечения нефти существенно затрудняет применение данной методики для оперативных расчетов. Однако данная методика успешно применяется для аналитических расчетов и моделирования аварийных ситуаций.

Методика, представленная в работах М.В. Лурье, основывается непосредственно на гидравлических расчетах и является наиболее абстрактной. [4] Оценка объема утечек с использованием этой методики практически невозможна без применения ЭВМ. Таким образом, методика является основой для составления расчетных программ, например пакета «АВИС», предназначенного для расчета динамики процесса истечения нефти.

Хотя данные методики имеют значительные различия, они имеют ряд общих недостатков:

- 1) методики не учитывают условия пролегания трубопровода: глубину заложения, свойства грунта. Особенно на объемы утечек могут оказывать такие свойства грунта, как пористость, проницаемость, водо- и нефтенасыщенность и т.д.;

- 2) в расчет не берется изменение некоторых параметров истечения во времени. В диссертации В.Л. Долговых было рассмотрено влияние изменения давления газового компонента на объем утечки. [5] В приведенном автором примере погрешность оценки объема утечки составила порядка 30%. Также требует рассмотрения вопрос изменение размера сквозного повреждения с течением времени;

- 3) отдельного внимания требует изучение процесс распространения нефтяного пятна для фактического определения объема вытекшей нефти и снижения экологических последствий аварий на нефтепроводах.

Вместе с тем, дальнейшие изыскания следует проводить в области оперативного обнаружения места утечки, что сведет к минимуму потери нефтепродукта и повысит эффективность работ по ликвидации аварий и инцидентов на нефтепроводах.

## Список литературы

1. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах: Серия 27. Выпуск 1 / Колл. авт. - 2-е изд., испр. - М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002.



2. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах. Минтопэнерго. – М.: ТрансПресс, 1996. – 66 с.
3. Антипов В.Н., Земенков Ю.Д., Шабаров А.Б. Диагностика повреждений и утечек при трубопроводном транспорте многофазных углеводородов. Тюмень: Вектор Бук, 2002. – 432 с.
4. Ишмухаметов И.Т., Исаев С.Л., Лурье М.В. Трубопроводный транспорт нефтепродуктов. М.: Нефть и газ, 1999. – 300 с.
5. Долговых В.Л. Аварийное опорожнение магистрального нефтепровода при безнапорном режиме: дис. ... кандидата технических наук. Тюмен. гос. нефтегаз. университет, Тюмень, 2004.

УДК 624.042.42

### **СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШИ ОТ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК В РЕЗЕРВУАРАХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

*С.А. Гредасова, В.К. Тяп*

*Самара, Самарский государственный технический университет*

Резервуары с плавающей крышей (РВС ПК) позволяют сократить потери от испарения легких фракций нефти и нефтепродуктов на 90-98 % [1]. Однако скопление большого количества снега на крыше может привести к потоплению, а в случае неравномерного распределения снежного покрова вызывает её перекос и дальнейшее заклинивание на направляющих стойках. Такие аварии происходили и приносили огромный ущерб[2].

Результатом данной научно-исследовательской работы является создание системы (Рис.1), осуществляющей контроль и управление величинами наклона и погружения плавающей крыши резервуара для предотвращения превышения максимально допустимых величин. Разработка является управляемой посекционной системой нагрева и включает в себя измерительную, нагревательную и интеллектуальную части. Измерительная часть состоит из датчиков инклинометров, осуществляющих контроль угла крена плавающей крыши и датчиков снегомеров, позволяющих создать пространственную модель снеговой «шапки». Нагревательная часть включает в себя подогревающие кабели, расположенные под настилом крыши, с разбивкой на сектора, управляемые автономно и вспомогательные кабели. Интеллектуальная часть включает в себя блок управления, с помощью которого проводится анализ всех полученных данных и выбор одного из трех возможных режимов работы системы: «только крен», «только потопление», «крен и потопление».

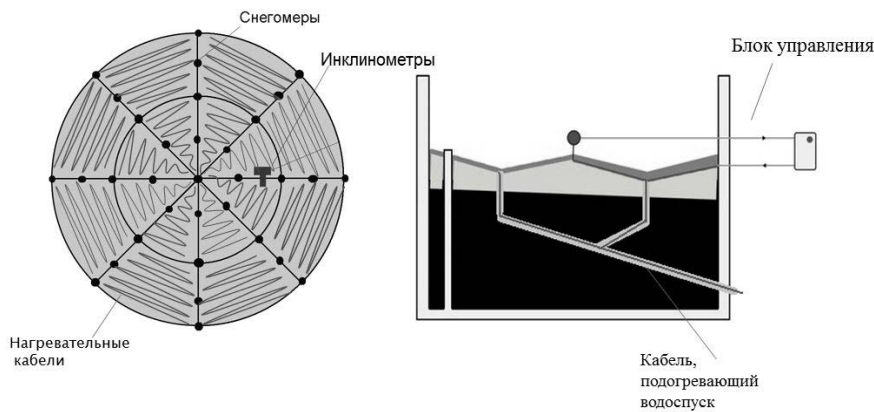


Рис. 1.

В работе были произведены расчеты снеговой и ветровой нагрузок на крышу резервуара в выбранном районе Западной Сибири.

Снеговая нагрузка:

$$Q = \mu \cdot S_g \cdot C_0 \cdot \pi \cdot r^2 = \mu \cdot \rho \cdot H \cdot C_0 \cdot \pi \cdot r^2 = 3521,837 \text{ т , где}$$

$S_g$  - расчетная снеговая нагрузка [3] (VI снеговой район,  $S_g=400 \text{ кг/м}^2$ );

$\rho$  - максимальная плотность снега,  $\rho=600 \text{ кг/м}^3$ ;

$H$  – высота снежного покрова,  $H=0,67 \text{ м}$ ;

$\mu$  - коэффициент перехода,  $\mu = 2,76^{H_{ст}/D} - 0,07 = 1,16$ ;

$H_{ст}$  - высота стенки,  $H = 18 \text{ м}$ ;

$D$  - диаметр резервуара,  $D = 88,5 \text{ м}$ ;

$C_0$  – аэродинамический коэффициент,  $C_0 = 1,25$

Ветровая нагрузка:

$$Q_v = \omega_0 \cdot S \cdot C_0 \cdot g_f = 340,4 \text{ т , где}$$

$\omega_0$  – нормативное ветровое давление (II ветровой район  $\omega_0=32 \text{ кг/м}^2$ );

$g_f$  - коэффициент надежности по ветровой нагрузке,  $g_f = 1,4$ ;

$S$  - площадь плавающей крыши,  $S = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (43,975)^2 = 6072 \text{ м}^2$

Также была подсчитана глубина погружения плавающей крыши, которая при максимальной нагрузке и без учета воздействия предлагаемой системы составит:

$$T = \frac{y_f \cdot G_{пк} + F_{тр} + Q_{сн} - Q_v}{\pi y_{ж} R_1^2} = 0,916 \text{ м , где}$$

$y_f$  - коэффициент надежности по нагрузке собственного веса  $y_f = 1,05$ ;  
 $y_{ж}$  - удельный вес хранимого продукта, при расчете плавучести  $y_{ж} = 0,7 \text{ т/м}^3$ ;

$G_{пк}$  - вес плавающей крыши вместе с оборудованием,  $G_{пк} = 678 \text{ т}$ ;

$F_{тр}$  - сила трения уплотняющего затвора о стенку,  $F_{тр} = f_{тр} \cdot \pi \cdot D = 0,003 \cdot 276,16 = 0,834 \text{ т}$  ;  $f_{тр} = 30 \text{ Н/м} = 0,003 \text{ т/м}$ ;

$Q_{сн}$  - полное расчетное значение снеговой нагрузки,  $Q_{сн} = 3521,837$  т;  
 $Q_v$  - ветровая нагрузка на плавающую крышу,  $Q_v = 340,04$  т.

При такой глубине погружения не выполняется запас плавучести, который является основным параметром надежности крыши. Соответственно, в выбранных нами климатических условиях необходимо очищать снег с крыши, что и позволяет автоматически делать предлагаемая система.

Одной из главных задач в данной работе было определение допустимых и критических величин высоты снежного покрова и угла крена крыши [4], при достижении которых автоматически будет включаться подогрев полной площади крыши или нескольких секторов.

В данной работе был произведен тепловой расчет, рассчитана средняя энергия, затрачиваемая системой в течении года. Также была произведена приблизительная экономическая оценка, в процессе которой сравнивались капиталовложения в систему и затраты на эксплуатацию с затратами на труд рабочих по очистке крыш резервуаров от снега. В результате подтвердилась рентабельность предлагаемой разработки.

Данная система позволит управлять нагревом каждой секции отдельно, что экономит значительное количество электроэнергии и упрощает процесс стабилизации крыши. Полная автоматизация позволяет избежать применения тяжелого и опасного ручного труда и не соблюдения норм эксплуатации плавающей крыши.

#### Список литературы

1. Каравайченко М.Г. , Бабин Л.А. Резервуары с плавающими крышами . М., Недра, 1992 г., С. 6-23.
2. Мустафин Ф.М., Жданов Р.А., Ахметов Ф.Ш. и др. Резервуары для нефти и нефтепродуктов .Том 1. Конструкции и оборудование. // Учебник для вузов. – Уфа, 2009 г., С.50-83.
3. СНиП 2.01.07.-85\* «Нагрузки и воздействия».
4. РД 16.01-73.10.00-КТН-010-1-05 «Специальные нормы проектирования и строительства стальных вертикальных резервуаров объемом 100000 м<sup>3</sup>».

УДК 622.692.4

### АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМЫ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕПРОВОДА

*М.А. Зарубина, М.Ю. Земенкова*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Одной из составляющих, обеспечивающих надежность нефтепроводной системы, является надежность резервуаров. Как мы знаем, **резервуары** подразделяются на следующие типы: наземный и подземный, вертикальный и го-

горизонтальный, из полиэтилена, из металла, или из стеклопластика. Наиболее распространённый тип - стальные резервуары - емкость, предназначенная для приема, откачки, хранения и измерения объема нефти.

Головная НПС может работать в следующих режимах:

- НПС работает как промежуточная НПС;
- НПС работает как головная НПС с подключенным резервуаром (резервуарами);
- НПС работает как головная НПС через резервуар (резервуары);
- НПС работает как головная НПС с приемом нефти в один резервуар (резервуары) и забором нефти из другого резервуара (резервуаров).

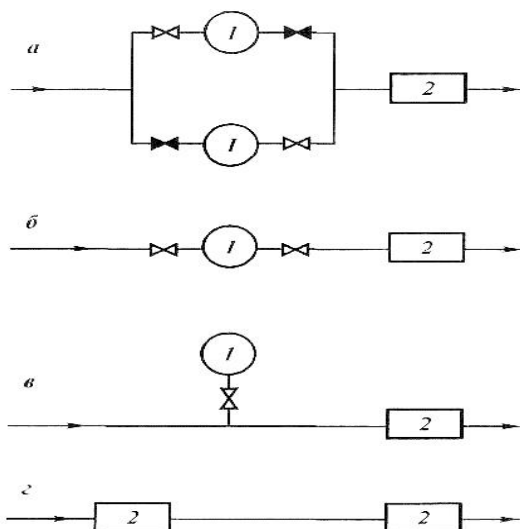


Рис. 1. Основные технологические схемы перекачки нефти:

а — станционная; б — через резервуар; в — с подключенным резервуаром;  
г — из насоса в насос; 1 — резервуар; 2 — насосный цех.

При работе НПС как промежуточной, реализуется режим «из насоса в насос». Данный режим используется на технологических участках, когда промежуточная НПС работает за счет давления, которое развивает предыдущая НПС.

При работе головной НПС через резервуар (резервуары) вся нефть, поступающая на прием НПС, подается в резервуар (резервуары), а затем с помощью подпорных насосов подается на магистральные насосы и в магистральный нефтепровод. Такой режим применяется в том случае, когда необходимо «перехватить» воздушные или газовые пробки, которые возникают в предшествующем технологическом участке нефтепровода во время ремонта или во время перекачки нефти с малой производительностью.

В том случае, когда на НПС поступает не кондиционная партия нефти необходимо исключить попадание этой партии дальше в магистраль. Для этого не кондиционную партию нефти направляют в один из резервуаров

(группу резервуаров), а забор нефти производится из другого резервуара (группу резервуаров). Такой режим называется «порезервуарно». Для сокращения потерь от «больших дыханий» необходимо избегать внутриваровых перекачек продукта из резервуара в резервуар.

При работе НПС с подключенным резервуаром (резервуарами) вся нефть, поступающая на прием НПС с помощью подпорных насосов подается на магистральные насосы и затем в магистральный нефтепровод. Если количество нефти, поступающей на прием НПС больше, чем откачивается насосами головной станции, то излишки нефти поступают в резервуар (резервуары). Уровень нефти повышается. Если количество нефти, откачиваемой насосами головной станции, больше чем поступающее на прием НПС, то недостающая нефть забирается из резервуара (резервуаров). При этом уровень нефти понижается. Этот режим является основным режимом работы головных НПС, так как основная масса нефти поступает сразу в магистраль, минуя резервуары, что предотвращает испарение легких фракций и позволяет компенсировать неравномерность производительности работы смежных технологических участков.

В результате проделанной работы можно сделать вывод, что основным режимом работы нефтепровода является работа НПС с подключенным резервуаром (резервуарами), так как основная масса нефти поступает в магистраль, что предотвращает испарение легких фракций и компенсирует неравномерность производительности работы смежных технических сооружений.

### Список литературы

1. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов. РД 153-39.4-056-00
2. П.П. Бородавкин, В.Л. Березин. Сооружение магистральных трубопроводов: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Недра, 1987 - 471 с.
3. Регламент «По техническому управлению и контролю за работой МН», 2003г.
4. Вайншток С.М., Новоселов В.В., Прохоров А.Д., Шаммазов А.М. Трубопроводный транспорт нефти. Том 1, том 2 – М.: Недра, 2004.
5. Автоматизация и телемеханизация магистральных нефтепроводов. Основные положения. РД 153 39.4-087-01
6. Руководство по организации эксплуатации и технологии технического обслуживания и ремонта оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций. РД 153-39ТН-008-96.
7. Техника и технологические процессы при транспорте энергоресурсов: Учебное пособие в 2-х томах. Под общей редакцией Ю.Д.Земенкова. -Тюмень: Изд. «Вектор Бук». -2008. -т.1. -380 с.
8. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах: учеб. пособие/Под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. -СПб.: Недра, 2004. -544 с.
9. Эксплуатация магистральных нефтепроводов: учеб. пособие/под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. -3-е изд., перераб. и доп. -Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2003. -664 с.
10. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах/ Антипьев В.Н., Земенков Ю.Д., Шабаров А.Б. и др. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень:изд-во «Вектор Бук», 2002, 432с.

## **ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТЕ УГЛЕВОДОРОДОВ**

*М.Ю. Земенкова, В.А. Костров, И.В. Сороштанов, И.В. Тырылгин  
Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Технология мониторинга MPC (multivariable predictive control – многофакторный контроль, оценка, прогнозирование), отвечающая современным экономическим, производственным требованиям и требованиям безопасности, основана на непрерывном особом контроле количественных и переменных величин множества показателей: контролируемых, регулируемых (уставок) и показателей производительности. Отличие данной технологии от применяемых в настоящее время на предприятиях систем контроля режимных параметров, заключается в наличии дополнительных аналитических экспертных систем и модулей, позволяющих принимать решения на основании прогнозных показателей.

Авторами представлены результаты разработки экспертной системы мониторинга надежности, отвечающей современным экономическим, производственным требованиям и требованиям безопасности. Разрабатываемая программная оболочка основана на технологии непрерывного контроля количественных показателей: контролируемых, регулируемых и показателей производительности. В процессе исследования авторами решался ряд задач, связанных с разработкой моделей и алгоритмов для оценки показателей надежности по временным показателям и диспетчерским данным. В качестве примера представлены результаты анализа на примере эксплуатационных данных.

Для оценки надежности трубопровода существует большое количество методов, однако экспертиза осложняется тем, что часть нагрузок на объекты нефтегазовой отрасли носит вероятностный характер. Так, например, надежность оборудования, эксплуатируемого в неоптимальных и переменных режимах эксплуатации, а также в условиях продления ресурса, необходимо оценивать с учетом показателей сохраняемости, на основании параметрических методов диагностирования в режиме реального времени.

Кроме того, воздействие окружающей среды, экстремальные ситуации, возникающие в результате изменения гидрогеологии, микроклимата и связанных с ними деформаций грунта и силовых воздействий, выполнение строительных работ и эксплуатации специальной техники приводит к нерасчетным напряжениям, влияющим на надежность работы системы.

Поэтому произвести экспертизу надежности нефтегазовых объектов весьма сложно и возможно только на основе методов теории надежно-

сти с учетом вероятностных характеристик как конструктивных параметров отдельных участков трубопровода, так и с учетом возможных внешних воздействий.

Существующая система сбора, обработки и использования статистической информации о техническом состоянии нефтегазопроводов, накапливающаяся при их диагностировании различными методами, нуждается в дальнейшем совершенствовании. При этом одним из главных направлений должно стать создание систем с применением современных информационных технологий, которые объединяют возможности экспертных и традиционных систем статистической обработки. Таким образом, целью работы является повышение эффективности мониторинга для управления надёжностью объектов трубопроводного транспорта. В процессе исследования авторами решался ряд задач, связанных с разработкой моделей и алгоритмов для оценки показателей надёжности по временным показателям и диспетчерским данным, разработкой программного комплекса по оценке надёжности. На сегодняшний день авторами разрабатывается программная оболочка для оценки показателей надёжности с помощью языка программирования C Sharp разработано пользовательское приложение на базе Windows Form Application.

Для анализа могут быть использованы как комплексные показатели надёжности, согласно системе государственных стандартов «Надёжность в технике», так и диагностирование в системе он-лайн на основании флуктуационного анализа диагностических параметров.

По результатам анализа установлено, что на сегодняшний момент в публикациях отсутствуют данные о продуктах, которые позволяли бы по диспетчерским данным производить оперативную оценку показателей надёжности нефтегазовых объектов.

В качестве примера, модули программного обеспечения по временным показателям апробированы при пробных расчётах для оценки надёжности газоперекачивающих агрегатов. Основная задача при реализации экспертной системы, создать универсальную виртуальную платформу, которая позволит интегрироваться под различные условия и задачи нефтяных и газовых объектов.

Первым этапом является создание блока с расчетом комплексных коэффициентов надёжности, который принимает данные, такие как: время работа агрегата, время нахождения агрегата в резерве, время вынужденного простоя, количество отказов оборудования. На основе сканируемых (вводимых) параметров программа рассчитывает комплекс коэффициентов выводит их на экран и интерпретирует в графические данные, осуществляет прогноз. В этом же блоке находятся коэффициенты технического состояния как, экстенсивного использования и интенсивного использования оборудования.

Вторым этапом, следует введение аналитического параметрического блока. Его задача отслеживание диспетчерских данных, по поведению которых, определяется закон распределения и рассчитывается вероятность дальнейшего развития.

Третьим этапом, анализируются нормы, которые регламентируются ГОСТами, техническими регламентами и нормативными документами. При приближении расчетных данных к критическим границам, срабатывает оповещение с ссылкой на нормативный документ.

Разработанная программная оболочка «Экспертная система контроля надежности CR2015» предназначена для определения надежности и технического состояния нефтегазового оборудования.

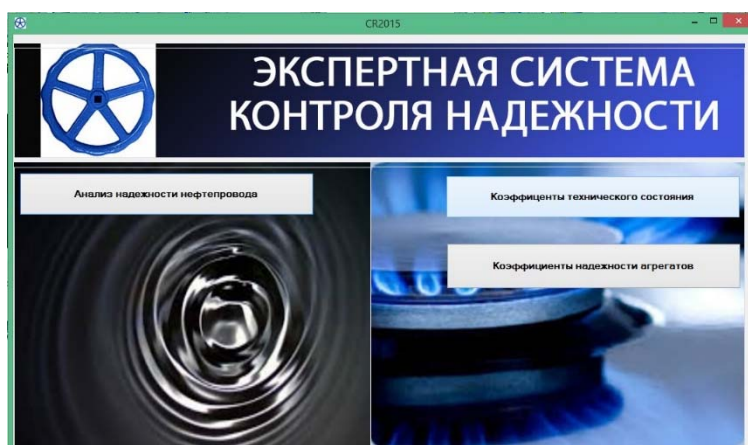


Рис.1 Стартовое окно

В качестве примера, анализ работы агрегатов может проводиться на основании использования агрегата по времени, по мощности, экономичности, наработке, нахождении в резерве или ремонте (ППР). Анализ надежности для газоперекачивающих агрегатов осуществляется на основании оценки коэффициентов надежности агрегатов и временных показателей, регламентируемых системой стандартов «Надежность в технике», в том числе наработок в различных состояниях, коэффициентом готовности, оперативной готовности, технического использования и других.

Программный комплекс универсален и адаптивен, так как позволяет оператору устанавливать периодичность оценки показателей, формировать комплекс показателей для анализа и период прогноза. Экспертная система требует индивидуальную настройку под конкретный промышленный объект с уставками и настройками.

Для завершения работы программы, необходимо закрыть все окна или закрыть стартовое окно, что приведет к завершению работы всей программы.

Аналитический блок разработан по двум направлениям:



- анализ показателей надежности, характеризующих свойство объекта и его элементов сохранять состояние работоспособности (на основании статистических данных);
- анализ характеристик, параметров, факторов, определяющих свойство объекта сохранять состояние работоспособности (на основе эксплуатационных данных)

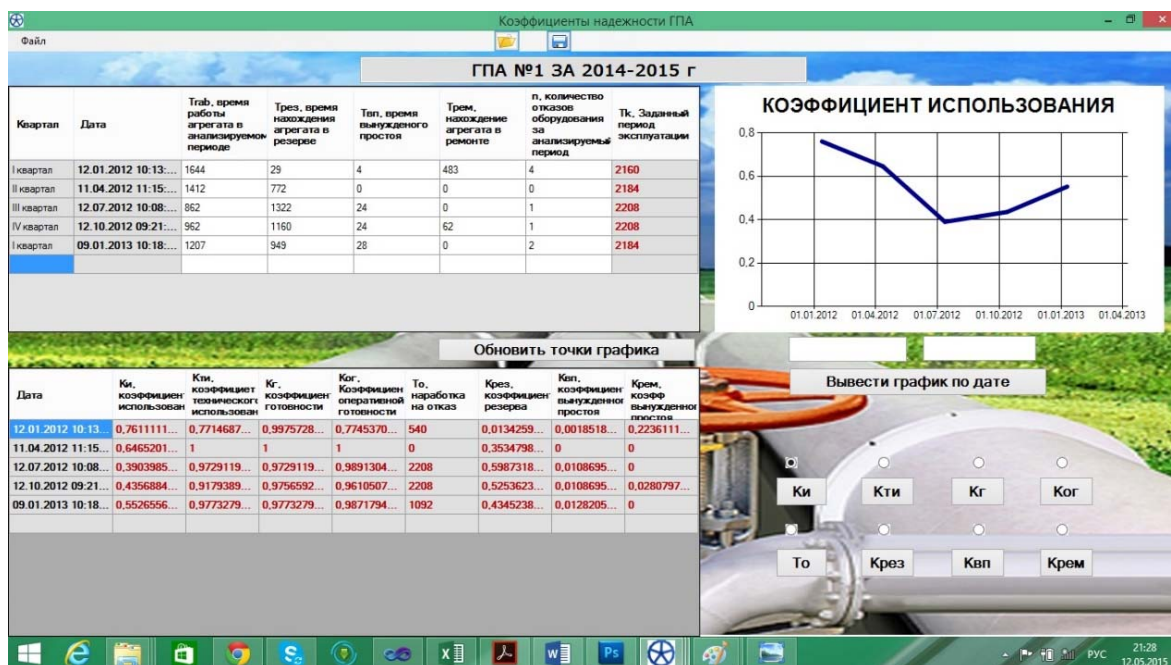


Рис.2 Расчет данных и построение диаграмм

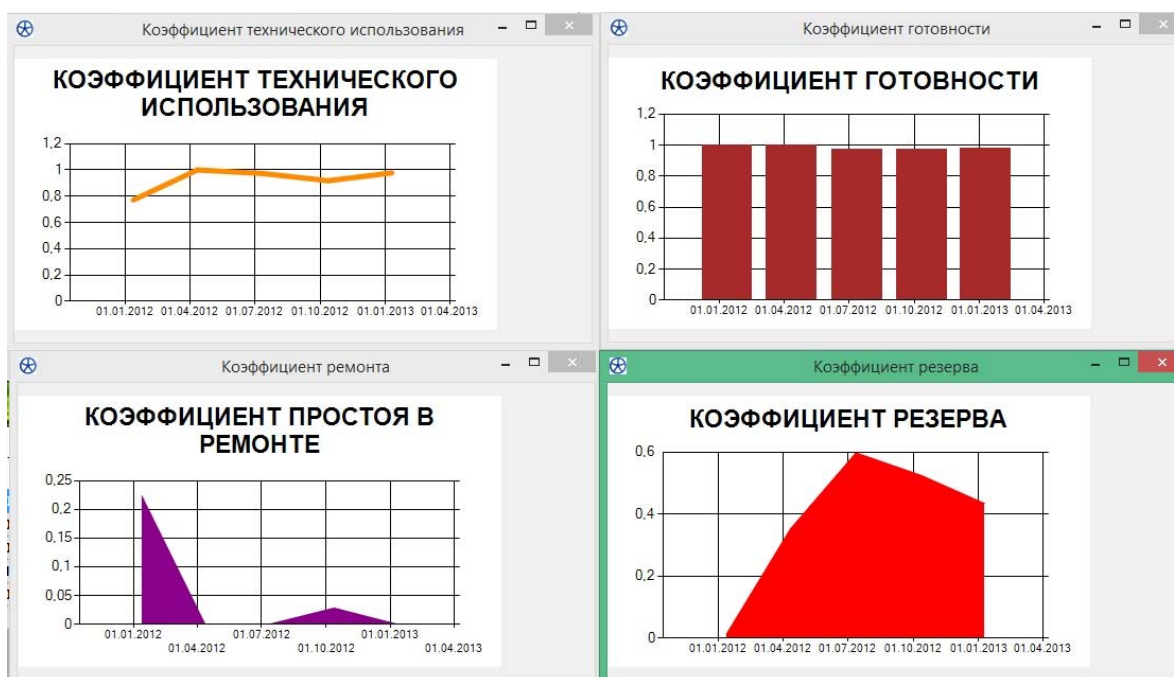


Рис.3. Анализ комплексных показателей работы агрегата

Для анализа и управления надежностью системы формируется структура, которая в режиме реального времени позволяет:

- производить оценку показателей надежности каждого элемента системы на любом уровне и определять наиболее уязвимые элементы;
- определять, какие параметры системы оказывают наибольшее влияние на ее надежность.

Поэтому создаваемый мониторинг строится на основе метода системного анализа, практически единственного, позволяющего корректно осуществлять принятие решений в условиях большого количества информации различной природы. Программа реализует принцип непрерывного сканирования показателей надежности и сравнения полученных значений с критическими. При достижении контролируемыми факторами критических значений определяются область и вид технического вмешательства.

Для получения адекватной модели надежности объектов весьма важным является выбор вида распределения отказов или событий, соответствующего фактическому, от чего во многом зависит точность получаемых результатов.

### Список литературы

1. Аспекты технологической надежности и экономической эффективности эксплуатации подземных хранилищ природного газа Западной Сибири: монография/Шиповалов А.Н., Земенков Ю.Д., Торопов С.Ю., Подорожников С.Ю. и др. -Тюмень: ТюмГНГУ, 2012 -344 с.
2. Земенков Ю.Д. Резервирование энергоресурсов для обеспечения надежности системы газоснабжения/Земенков Ю.Д., Акулов К.А., Васильев Г.Г и др.- Тюмень: ТГНГУ, 2006.-244с.
3. Земенкова М.Ю., Шиповалов А.Н., Дудин С.М., Земенков Ю.Д. Системный анализ в процессах контроля и управления нефтегазовых объектов//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. -2007, № 5. -С. 116-119.
4. Мониторинг гидродинамических и технических характеристик трубопроводных систем: Учебное пособие. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2008 – 432 с.
5. Основы эксплуатации гидравлических систем нефтегазовой отрасли: учебное пособие/ Под общ.ред. Ю.Д.Земенкова.-Тюмень: «Вектор Бук», 2012. -402 с.
6. Техника и технологические процессы при транспорте энергоресурсов: Учебное пособие в 2-х томах. Под общей редакцией Ю.Д.Земенкова. -Тюмень: Изд. «Вектор Бук». -2008. -т.1. -380 с.
7. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах/ Антипьев В.Н., Земенков Ю.Д., Шабаров А.Б. и др. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень:изд-во «Вектор Бук», 2002, 432с.
8. Торопов С.Ю., Земенков Ю.Д., Подорожников С.Ю. Повышение экологической надежности ремонта трубопроводов в сложных природно-климатических условиях //Газовая промышленность. – М.: ООО «Газойл пресс», 2015, № S720 (720), С. 95-98.
9. Шпилевой В.А., Курушина Е.В. Роль и оценка технической и экономической энергоэффективности добычи и транспорта нефти и газа Тюменского региона // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2008, №1. – С. 93-101.

## СИСТЕМА СБОРА ПАРОВ ЛЕГКИХ ФРАКЦИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ

*Н.И. Иванова, И.А. Федотова, Е.А. Чернышова*

*Самара, Самарский государственный технический университет*

На сегодняшний день с момента добычи до непосредственного использования нефть и нефтепродукты подвергаются более чем перевалам, при этом 75 % потерь происходит от испарений и только 25 % — от аварий и утечек. Значительная часть выбросов приходится на товарно-транспортные операции, а именно на «большие» и «малые дыхания» резервуаров. Из-за них снижается степень взрыва и пожаробезопасности нефтебаз, а также теряются легкие, наиболее ценные фракции углеводородов, что приводит к уменьшению количества и ухудшению качества нефти.

Проблема негерметичности резервуаров является наиболее острой для нефтедобывающей промышленности. В настоящее время самым распространенным способом по предотвращению испарения хранимого продукта на нефтебазах является применение понтона или плавающей крыши, которые снижают потери лишь на 70-95%, к тому же в России на долю таких резервуаров приходится не более 20%. В связи с этим очевидна актуальность и перспективность разработки системы, которая сможет обеспечить сбор паров легких фракций углеводородов на резервуарных парках и полностью сократить выбросы в атмосферу.

Для детального изучения вопроса был произведен расчет еженедельных выбросов от «больших» и «малых дыханий» из 40 нефтяных резервуаров на резервуарном парке «Станция смешения нефти» площадки «Самара». На данной нефтебазе находятся 3 резервуара со стационарной крышей (РВС) и 37 резервуаров с понтоном (РВСП) объемом 20000 м<sup>3</sup> каждый. Расчеты показали, что за одно «большое дыхание» РВСП теряется в среднем 30,22 м<sup>3</sup> паровоздушной смеси, а в результате «малого дыхания» - 0,54 м<sup>3</sup>. Объемы выбросов из РВС в 20 раз больше, чем из РВСП.

Предположив, что за одну неделю произошло 7 «больших» и 7 «малых дыханий», недельные потери парка составляют 20875,47 м<sup>3</sup>. Произведя данные расчеты, было установлено, что, несмотря на наличие алюминиевых понтонов, необходима обвязка резервуарного парка с помощью газоуравнительной системы, которая бы обеспечивала 100 % сокращение потерь.

Предлагаемая схема выглядит следующим образом:

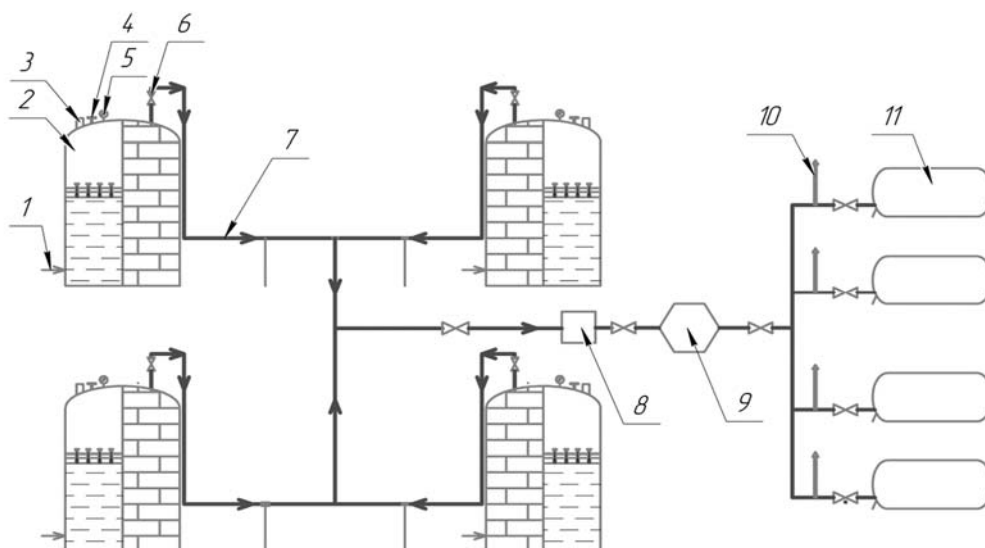


Рис. 1. Система сбора паров. 1 - сырьевой трубопровод; 2- группа резервуаров с понтоном, предназначенные для хранения нефти и нефтепродуктов; 3 - предохранительные клапана; 4 - дыхательные клапана; 5- манометры; 6 - запорные краны; 7 - газоуравнительная линия; 8 - компрессоры для поднятия давления; 9 - блок по отделению кислорода; 10 - свечи для аварийного сброса газа; 11 – емкости для сбора газа.

Система сбора паров работает следующим образом. При закачке нефти в резервуаре начинаются процессы перемещения воздуха и паровоздушной смеси – происходит «дыхание», в результате чего в газовом пространстве повышается давление, которое регистрируется манометром. Затем через отвод, подключенный к дыхательной арматуре, паровоздушная смесь проходит через компрессор, сжимается, и поступает в газоуравнительную линию высокого давления. Далее сжатый газ направляется в емкости для хранения газа - газгольдеры, проходя перед этим через блок очистки от кислорода. Предлагаемый принцип полностью замыкает систему в контур, тем самым вредные выбросы в атмосферу сводятся к нулю.

Имеющиеся на станции РВС и РВСП, предложено подключить следующим образом: на РВС, имеющем 8 клапанов КДС-3000 подключить трубу к одному из клапанов, что будет обеспечивать отвод паровоздушной смеси из резервуара, а на РВСП, имеющем 13 патрубков ПВ-500, подсоединить отвод к одному из вентилирующих патрубков, а остальные загерметизировать.

Для отвода газовой смеси от резервуаров предлагается использовать полиэтиленовые трубы SDR 26 диаметром 400 мм. Для уменьшения объема газа и диаметра трубы газоуравнительной линии, на каждый резервуар предлагается поставить компрессор. В ходе расчетов было установлено, что для оптимальной и безопасной работы системы газовый компрессор должен создавать на выходе давление, равное 1,67 МПа.

В системе предлагается использовать газовую обвязку резервуаров высокого давления. Следует отметить, что ранее проектов газоуравнительной линии высокого давления не создавалось. Для данного проекта предлагаются полиэтиленовые армированные трубы. Данный тип труб имеет ряд преимуществ перед стальными. Согласно расчетам, а также СНиП 42-01-2002 «Газораспределительные системы» и в соответствии с ГОСТ 50838 для отвода от резервуара необходимы полиэтиленовые армированные трубы диаметром 400 мм.

Сбор и временное хранение газа возможно осуществлять как в стационарных емкостях – газгольдерах высокого давления, так и в мобильных газозовозах на базе КАМАЗ 65115 с установленными ёмкостями российского производителя объёмом 20м<sup>3</sup> - 22м<sup>3</sup>, как предложено в нашем проекте для станции «СН» площадки «Самара». Максимальные объёмы вместимости стационарных газгольдеров высокого давления также 20 м<sup>3</sup>, поэтому рациональное использование того или иного оборудования будет зависеть от дальнейшего способа переработки газа.

В ходе работы был проведен анализ проб газозовоздушной смеси, отобранной из резервуаров. Анализ выполнялся на хроматографе «Кристалл 2000» с пламенно-ионизационным детектором, снабженном кварцевой капиллярной колонкой длиной 100 м и внутренним диаметром 0,025 мм. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Процентное содержание различных углеводородов в пробах из резервуаров на резервуарном парке «СН»

| Со-<br>единение | Содержание углеводородов, %масс. |            |             |             |              |
|-----------------|----------------------------------|------------|-------------|-------------|--------------|
|                 | РВСП<br>№21                      | РВС<br>№31 | РВС<br>№ 32 | РВС<br>№ 34 | РВСП<br>№ 36 |
| метан           | 5.00                             | 0.01       | 3.13        | 19.20       | 78.47        |
| этан            | 3.01                             | 0.05       | 16.11       | 18.71       | -            |
| пропан          | 38.63                            | 39.11      | 49.53       | 42.81       | 21.30        |
| 2-метилпропан   | 14.17                            | 22.27      | 15.89       | 11.69       | -            |
| бутан           | 22.67                            | 26.35      | 11.83       | 5.77        | -            |
| 2-метилбутан    | 6.23                             | 7.00       | 2.46        | 1.30        | -            |
| пентан          | 3.46                             | 2.48       | 0.25        | -           | -            |

Исследование пробы газа даёт результат, на основании которого можно сделать выводы о качестве нефтяного газа и возможных вариантов его применения. Процентное содержание метана в паровоздушной смеси зависит от объема нефти в резервуаре и времени ее нахождения в резервуаре. Поэтому очевидно, что чем быстрее отвести смесь из резервуара, тем больше метана будет в ней содержаться. Это и будет обеспе-

чивать наша система. Так как процентное содержание пропана и его изомеров в пробах довольно велико, газ можно продавать на газоперерабатывающий завод для дальнейшей переработки и выделения этана, пропана, бутана и пентана, производства серы, стабилизации и переработки газового конденсата.

Таким образом, при наполнении мобильных газгольдеров, мы предлагаем отправлять их на газоперерабатывающий завод для дальнейшей переработки и получения разнообразного сырья. Согласно произведенным расчетам, прибыль от продажи сырья для переработки, снижение выплат за нормативные и сверхнормативные выбросы вредных веществ предприятия окупят затраты на инвестиции в течение 3 лет. Также при оценке экономической эффективности следует оценивать величину экологического и социального ущерба до и после введения в эксплуатацию данной системы. Очевидно, что сооружение таких систем на резервуарных парках нашей страны принесет пользу и нефтегазовой промышленности, и экосистеме Земли, а также позволит улучшить экологическую обстановку не только на самих нефтебазах, но и в рядом расположенных жилых районах.

#### **Список литературы**

1. Коршак А.А. Ресурсосберегающие методы и технологии при транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006 г. – 192 с.
2. Тугунов П.И., Новосёлов В.Ф. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002 г. – 658 с.

УДК 621.642

### **ПРОЕКТ РЕЗЕРВУАРА ОБЪЕМОМ 100000 МЗ СО СТЕНКОЙ КАННЕЛЮРНОГО ТИПА**

*Л.Е. Землеруб, А.Ю. Егоров, И.И. Чемоданова, М.Е. Голдаевич*

Необходимость увеличения единичной вместимости резервуара диктуется технико-экономическими показателями, а именно снижением как капитальных, так и эксплуатационных затрат. Так на конечном пункте КТК в Новороссийске сооружают РП, состоящий из 10 РВС-ПК объемом 100 000 м<sup>3</sup>, 4 из которых уже введены в эксплуатацию. Недостатками конструкций широко применяемых в настоящее время РВС, РВСП являются: работа стенки на растяжение при заполнении резервуара, работа уторного узла как «пластического шарнира», кроме того для компенсации напряжений, возникающих от изгибающего момента при опорожнении резервуара, днище резервуара и основание под ним приходится сооружать в виде конуса.

В работе представлен проект резервуара объемом 100000 м<sup>3</sup> со стенкой каннелюрного типа и стягивающим вантовым покрытием (рис.1) со стальной обрешеткой и настилом из металлочерепицы, что позволяет использовать понтон, представляющий собой многослойную алюминиевую конструкцию, заполняющуюся алюминиевыми сотами, обеспечивающими жесткость конструкции. Зазор между понтоном и стенкой герметизируется затвором мягкого типа. Толщина днища по всей площади составляет 9 мм. Фундамент резервуара выполнен в виде сегментно-сферической конструкции, которая специально разрабатывалась на кафедре для РВС-К.

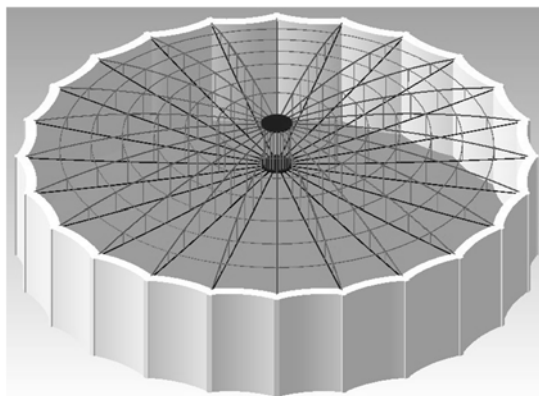


Рис. 1. Проект резервуара

Каннелюрная панель представляет собой вертикальный участок стенки, состоящий из стальных листов, обращенных выпуклостью внутрь резервуара. Места стыка панелей являются ребрами стенки РВС-К. С внутренней стороны стыка каннелюрных панелей приварена накладка шириной 600 мм, образующая с ребрами стенки трехгранную балку, увеличивающую жесткость конструкции.

При заполнении резервуара продуктом стеновые панели сжимаются за счет распора, возникающего в поперечном направлении от гидростатического давления. Опрокидывающие усилия в ребрах стенки, возникающие от гидростатического давления жидкости внутри резервуара, снижаются за счет натяжения вантового покрытия. В соответствии с расчётами выбрано вантовое покрытие комбинированного типа с вертикальными жесткими распорками и зигзагообразной канатной решеткой с внутренним и внешним опорными кольцами. [1]

В качестве распорок применимы стальные стержни. Они предназначены для передачи нагрузок между верхним и нижним поясом вант и не испытывают больших напряжений, поэтому стержни могут быть полыми, что значительно уменьшает вес покрытия. Внутреннее кольцо изготавливается из вант большего диаметра, с учетом растягивающих усилий. Внешнее опорное кольцо выполняют в виде замкнутого контура, который работает на сжатие и воспринимает распор от тросов.

Система разгрузки представляет собой жёстко сопряженную конструкцию блока (ролика), установленного в верхней точке ребра каннелюрной панели стенки, через который пропущен стальной канат, являющийся продолжением несущего ванта покрытия. Трос (вант) проходит через систему блоков внутреннего центрального кольца. Система блоков внутреннего центрального кольца представляет собой попарное расположение блоков на верхнем и нижнем опорном поясе центрального кольца, через которое пропущены несущие вантовые канаты. [2]

Следовательно, сопряженная конструкция вантового покрытия и стенки резервуара, при их совместном динамическом взаимодействии, представляет собой саморазгружающуюся систему. В результате, увеличивается прочность и устойчивость резервуара. [3]

Для оптимизации геометрии конструкции в программном комплексе ANSYS был выполнен ряд расчетов напряженно-деформированного состояния резервуара с учетом пластического деформирования материала при различных размерах и расположении колец жесткости.

Результаты расчетов показывают, что такая конструкция позволила переместить максимальные напряжения в стенке из зоны уторного узла на середину высоты стеновых панелей, причем сами стеновые панели работают на сжатие, а кольцо жесткости, установленное на середине высоты панелей, работает на растяжение (Рис.2). Кроме того, места максимальных напряжений находятся вне контакта с продуктом, что позволит сократить сроки ремонта, увеличить межремонтный период и большую часть ремонтных работ производить без вывода резервуара из эксплуатации. Днище у такого резервуара плоское - без конуса.

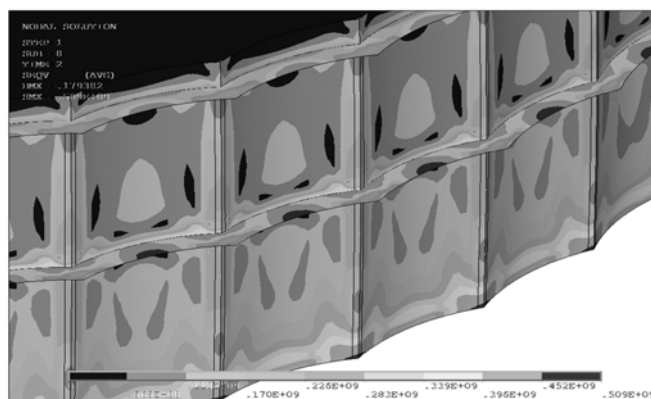


Рис.2. Конструкция

Анализ характеристик и технических показателей предложенного резервуара показал перспективность его применения ввиду очевидных преимуществ перед используемыми в настоящее время:

- гарантированное увеличение прочности и устойчивости резервуара;
- значения прочности и устойчивости всей конструкции, достаточные для эксплуатации в сейсмоопасных районах;



- повышение экологической безопасности в случае аварийной ситуации;
- уменьшение площади застройки;
- увеличенная продолжительность срока службы и межремонтных периодов.

Дальнейшая работа научной студенческой секции видится в следующем:

- Оптимизация размеров конструктивных элементов резервуара.
- Проведение расчета срока службы резервуара.
- Разработка системы управления напряженно-деформированным состоянием (НДС) конструкции.
- Разработка ППР и ТЭО.

### Список литературы

9. 1. Павилайнен В.Я. Расчет оболочек в многоволновых системах. Л. Стройиздат, 1973г. – 134 с.
10. 2. Кирсанов Н.М. Висячие и вантовые конструкции: Учебное пособие для вузов. 1981 г.
11. 3. Абовский Н.П. Максимов А.В. Управляемые конструкции и системы: Учебно-методический комплекс. - Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 149 с.

УДК 621.643.3-036.6

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ АРМИРОВАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМИ НИТЯМИ ТРУБ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ**

*Д.В.Ковалёв*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В настоящее время применяют коррозионностойкие полиэтиленовые трубы, усиленные стальной арматурой двух основных типов:

- МПТ (металлопластовые трубы) - сварным проволочным каркасом,
- ГПМТ (гибкие полимерно-металлические трубы) - витой стальной лентой или проволокой, используются в нефтегазовом комплексе как альтернатива стальным трубам.

Однако практика эксплуатации таких трубопроводов показывает, что в некоторых случаях не удастся избежать коррозии армирующих элементов.

Трубы нового поколения армируются коррозионностойкими высокопрочными синтетическими нитями или полиэфирными. Трубы сертифицированы, разрешены Ростехнадзором России к применению в нефтегазовой

промышленности и в системах газораспределения, а даже санитарно - эпидемиологическое заключение о возможности применения труб в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Существует технология непрерывного производства полиэтиленовых армированных синтетическими нитями труб (ПАСНТ) и экструзионная линия, включающая экструдер для изготовления внутреннего слоя, вертулки для обмотки внутреннего слоя нитью и боковой экструдер для нанесения наружного полиэтиленового слоя. Годовой объем производства таких труб до 2,4 тысяч тонн или 500 км трубы диаметром 110 мм. Линия позволяет изготавливать трубы с наружным диаметром от 63 до 160 мм. Трубы предназначены для строительства трубопроводов с рабочим давлением до 4,0 МПа при температуре транспортируемого продукта от -15° до +60°С. Расчетный срок эксплуатации на нефтепромыслах 25 лет, в системах водоснабжения и газораспределения – до 50 лет. Трубопроводы из ПАСНТ предназначены для транспортирования нефтегазоводяных эмульсий, нефтяного попутного газа, пластовой и хозяйственно- питьевой воды и природного газа при давлении 1,2 МПа.

В ПАСНТ используется полиэтилен ПЭ80 и полиэфирные нити, которые обладают высокой стойкостью к агрессивным веществам, транспортируемым по нефтепромысловым трубам (нефть, нефтяной попутный газ, пластовые и сточные воды, в том числе с большим содержанием сероводорода, кислорода, углекислого газа и др.), и находящимся в грунте. Стальные трубопроводы с наружной и внутренней антикоррозионной защитой по этому параметру уступают полиэтиленовым армированным синтетическими нитями трубам, превосходя их по стоимости. Являясь диэлектриками, полиэтилен и полиэфирные нити, не подвержены действию блуждающих токов, в отличие от стальных трубопроводов и не нуждаются в станциях электрохимической защиты. Внутренняя поверхность ПАСНТ не подвержена коррозии и зарастанию карбонатными отложениями, в отличие от стальной трубы, пропускная способность которой может снижаться через 5 лет эксплуатации на 10...48%, через 10 лет – на 14...57% и через 20 лет – на 20 ...68%, в зависимости жесткости воды. Полиэтиленовые армированные синтетическими нитями трубопроводы обычно прокладывают подземно, т.к. полиэтилен чувствителен к ультрафиолетовому излучению. В случае необходимости в материал наружного слоя вводятся светостабилизирующие примеси. Пропускная способность ПАСНТ не только не уменьшается со временем, но и растет в процессе эксплуатации за счет увеличения диаметра проходного сечения, обусловленного явлениями ползучести в полиэтилене и полных нитях. При расчетном сроке эксплуатации 25 лет внутренний диаметр может (при постоянном давлении 2,5 МПа) вырасти на ≈5%, а площадь речного сечения вырасти на ≈10%. Кроме того, пограничный слой внутренней поверхности полиэтиленовой трубы со временем за счет гидра-

тации или набухания от контакта с углеводородами, становится более пластичным и гладким, что снижает гидравлическое сопротивление. Поэтому трубы можно выбирать с меньшим внутренним диаметром, чем у стальных труб. Гидроабразивная стойкость трубы из полиэтилена высокой плотности имеют высокую гидроабразивную стойкость по сравнению с трубами из других полимеров. Физико-механические характеристики ПАСНТ обладают высокой гибкостью: радиус изгиба должен быть не менее 20 наружных диаметров. Это позволяет сворачивать их в бухты. Поставка труб с наружным диаметром от 63 мм до 125 мм производится в бухтах длиной от 400 до 200 м, соответственно. Это снижает количество соединений в трубопроводе в 15...30 раз и существенно снижает время строительства трубопровода. За счет гибкости трубопроводы из ПАСТ способны выдерживать подвижки грунта, вызванные при землетрясениях, пучении и просадки грунта, что повышает их живучесть. Следует отметить высокую податливость ПАСНТ и в окружном направлении, что позволяет им выдерживать замерзание воды без снижения несущей способности после оттаивания. Кроме того, значительно снижается давление гидравлических ударов по сравнению со стальными и стеклопластиковыми трубами, а также МПТ и ГПМТ. Материалы ПАСНТ высокой ударной вязкостью, что делает их малочувствительными к ударам, царапинам и забоинам на наружной поверхности, быстрому и медленному распространению трещины (ГОСТ Р 50838).

Размотка труб из бухты производится с помощью специального приспособления – размотчика, см. (Рис. 1). Скорость размотки до 1 км/час. Размотка трубы из бухты осуществляется при температуре наружного воздуха не ниже плюс 5°C, при меньшей температуре бухту рекомендуется подогревать. Для размотки необходим кран грузоподъемностью не менее 1т и тянущее транспортное средство.



Рис. 1 -Размотка ПАСНТ из бухты для монтажа выкидного трубопровода

Повороты и выходы на поверхность трубопровода из ПАСНТ рекомендуется осуществлять упругим изгибом при условии, что минимально радиус упругого изгиба для труб ПАСН должен быть не менее допустимого. Это позволяет обходиться без отводов.

Эффективность применения ПАСНТ в нефтегазовом комплексе обусловлена:

- высокими эксплуатационными характеристиками труб,
- простотой и высокой скоростью строительства трубопроводов,
- относительно низкой стоимостью труб и монтажа,
- длительными сроками эксплуатации трубопроводов и их
- ремонтпригодностью,
- незначительными затратами на обслуживание.

Таким образом, на основании результатов известных испытаний, опыта эксплуатации ПАСНТ, можно сделать вывод о том, что данная технология может быть успешно применена для строительства трубопроводов, а свойства материала трубы могут способствовать повышению показателей надежности, в частности безотказности, долговечности и сохраняя емкости.

#### Список литературы

1. Диагностика повреждений и утечек при трубопроводном транспорте многофазных углеводородов./Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень: Вектор Бук, 2002. -432 с.
2. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах/ Антипьев В.Н., Земенков Ю.Д., Шабаров А.Б. и др. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень:изд-во «Вектор Бук», 2002, 432с.
3. Техника и технологические процессы при транспорте энергоресурсов: Учебное пособие в 2-х томах. Под общей редакцией Ю.Д.Земенкова. -Тюмень: Изд. «Вектор Бук». -2008. -т.1. -380 с.
4. Агапчев В.И. и др. Новая технология диагностирования нефтепромысловых трубопроводов из полимерных материалов// – В сб. докладов Научно-практического семинара «Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта», 11 апреля 2006 г., Киев 2006, с. 68-69.
5. Глухова О.В., Фаттахов М.М. Эффективность применения трубопроводов из полиэтиленовых труб // Нефтегазовое дело, 2006.
6. Основы эксплуатации гидравлических систем нефтегазовой отрасли: учебное пособие/Земенков Ю.Д., Богатенков Ю.В., Земенкова М.Ю., Венгеров А.А., Тырылгин И.В., Воронин К.С., Дудин С.М., Некрасов В.О. Под общ.ред. Ю.Д.Земенкова.-Тюмень: «Вектор Бук», 2012. -402 с.
7. Эксплуатация магистральных нефтепроводов: учеб. пособие/под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. -3-е изд., перераб. и доп. -Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2003. -664 с.
8. Земенкова М.Ю., Пузина Т.С., Маслаков С.В., Сероштанов И.В., Никифоров В.Н. Перспективы использования современных технологий для обеспечения надежности промысловых трубопроводов// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014, № S4. - С. 174-183.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНИ-ТУРБИН ДЛЯ ВЫРОБОТКИ ЭНЕРГИИ НА ТРУБОПРОВОДАХ**

*Колупаев С.А.*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

История цивилизации — история изобретения все новых и новых методов преобразования энергии, освоения её новых источников.

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережали темпы развития других отраслей. Именно поэтому самым выгодным способом транспортировки энергетических ресурсов является трубопровод.

Трубопровод — инженерное сооружение, предназначенное для транспортировки газообразных и жидких веществ, пылевидных и разжиженных масс, а также твёрдого топлива и иных твёрдых веществ в виде раствора под воздействием разницы давлений в поперечных сечениях трубы [1]. В России трубопроводный транспорт считается частью транспортной инфраструктуры.

И самым популярной частью транспортной инфраструктуры является водопровод, который присутствует в большинстве крупных и средних городов любой страны.

Водопровод — система непрерывного водоснабжения потребителей, предназначенная для проведения воды для питья и технических целей из одного места в другое — к водопользователю (городские и заводские помещения) преимущественно по подземным трубам или каналам [2]. Трубы, современной централизованной водопроводной системы, имеют достаточно большой диаметр и пропускают через себя огромное количество воды. При этом энергия течения воды никак не используется, и это нужно исправить — так считают представители американской компании Lucid Energy (Льюсид Энэрджи). Именно эта компания предложила властям г. Портленд, Орегон, проект по превращению водопровода в генератор электрической энергии. Проект получил название LucidPipe Power System (ЛьюсидПайп Пауэр Систем) [3].

Реализация проекта теоретически не сложная: необходимо заменить участки водопроводных труб на участки с мини-генераторами, которые работают за счет движения воды. На таком участке трубы могут размещаться четыре 107-см турбины. Предварительные расчеты инженерами компании показывают, что турбины не замедляют течение воды, так что проблемы со снижением пропускной способности трубопровода не возникнут (рис.1).

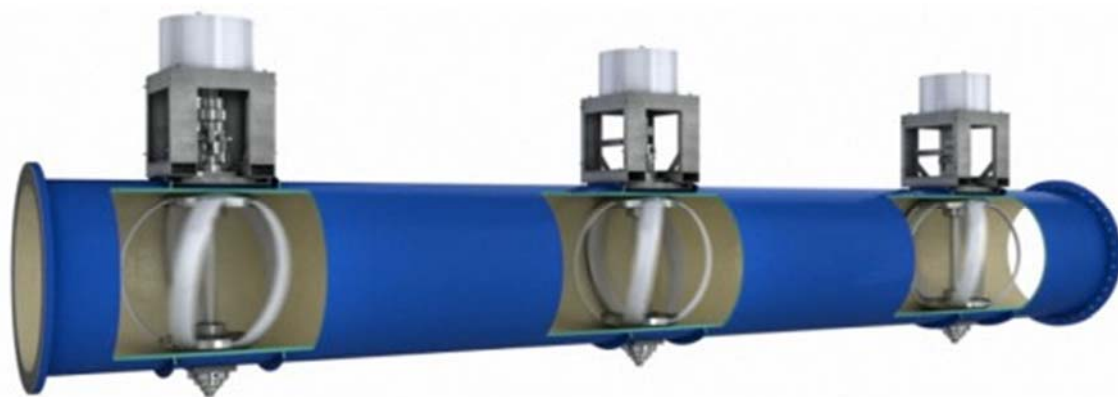


Рис.1. Схема с использованием турбин

По расчетам, мощность такой мини-ГЭС, участка с четырьмя турбинами, составляет 200 КВт. Общая мощность после установки всех тестовых участков составит 1100 мегаватт-часов энергии в год, что хватит для снабжения примерно 150 домов.

Электроэнергия, вырабатываемая системой LucidPipe, может быть использована на месте, чтобы питать устройства или может быть передана в сеть с помощью инвертора, подключенного к сети. Электрическая энергия можно также использовать для зарядки аккумуляторов.

Принцип работы LucidPipe в преобразовании движения воды в энергию с помощью уникальных турбин, установленных внутри трубопровода. LucidPipe подходит для использования движения вод по распределительным трубопроводам, сточных вод сточных трубопроводов, промышленных сточных вод и других трубопроводов с достаточным потоком и давлением.

LucidPipe использует уникальный, на подъемной основе, вертикально-осевую сферическую турбину, которая помещается внутрь большого диаметра (24"-96") водопроводных труб. Вода протекает по гидродинамической трубе, производя электроэнергию, после раскручивания турбины.

Гидродинамическая турбина была тщательно разработана и лабораторно испытана, чтобы максимизировать эффективность и производство электроэнергии без прерывания потока воды. После увеличения скорости потока производства электроэнергии увеличивается. Из-за подъема генератора на основе конструкции LucidPipe, система генерирует энергию в очень широком диапазоне условий потока, объемов и скоростей. LucidPipe использует очень малый напор на турбину, только 1-6 PSI (1-4 метров). Это позволяет модульную систему LucidPipe размещать последовательно, при этой возможности для непрерывного потока воды. LucidPipe не должны быть размещены в зоне переходного давления или экстремальных перепадов давлений. Модульная архитектура LucidPipe, электрическая система и эксплуатационной гибкости, позволяет сделать эту систему поистине уникальным. Динамика и технические характеристики. Уникальная

гибкость дизайна LucidPipe энергосистема вмещает несколько конфигураций и систем потока. Это позволяет LucidPipe, использовать в широком диапазоне для муниципальных, промышленных, ирригации, нефти и газа и опреснительных установок и других систем. Коэффициент использования установленной мощности для систем водоснабжения и водоотведения приложений LucidPipe эквивалентен 2-3, как и солнечной и ветровой энергии. LucidPipe Система питания предназначен для использования в трубах большого диаметра (24"–96") для максимальной эффективности и выхода энергии. Скорость воды помогает определить оптимальный размер LucidPipe системы, которым можно управлять в трубопроводе. Скорость воды является наиболее важным показателем для определения энергии генерирующих мощностей трубопровода. Типичные скорости течения воды в трубопроводах 4-7 фт/с (1,7-2,1 м/с). В большинстве случаев, необходимо уменьшить диаметр трубопровода, на котором установлен система LucidPipe. Это увеличит скорость воды через турбину для увеличения производства энергии. LucidPipe имеет автоматическую систему дистанционного управления, которая может остановить или замедлить вращение турбины по необходимости.

Любое устройство или часть оборудования в пределах трубопровода, имеет риск кавитации.

LucidPipe предназначен для ограничения возможности кавитации в широком диапазоне в условиях трубопровода. LucidPipe также способен удаленно отслеживать условия начала кавитации, например, при чрезвычайно высокой скорости потока, система управления способна применить электрические или механические способы торможения, не выключая систему, пока условия кавитации не пошли на убыль.

Рассмотрим варианты использования таких мини-ГЭС на нефтепроводах и газопроводах.

Нефтепровод — комплекс сооружений для транспортировки нефти от пункта добычи к потребителям (нефтеперерабатывающему заводу или перевалочным нефтебазами). Нефтепровод сооружается из стальных труб диаметром до 1220 мм на рабочее давление от 5,5 до 6,4 МПа. Нефтепровод прокладываются подземным, надземным и наземным способами [4].

В основном скорость движения нефти (в нефтепроводе) не превышает 0,4 - 0,5 м/с. В принципе этой скорости достаточно для работы мини-ГЭС. Установка мини-ГЭС — это по сути препятствие для потока жидкости.

Но нужно не забывать, что в процессе перекачки в нефтепроводе с течением времени происходят следующие явления:

а) в процессе перекачки в нефтепроводе происходит расслоение потока жидкости на нефть и воду, которая скапливается на низких геодезических отметках. Для удаления воды применяются различной конструкции поршней и любое сужение трубопровода недопустимо;

б) на внутренней стенке нефтепровода происходит отложение парафинов. Удаление парафинов производится очистными устройствами, которые также не допускают сужение трубопровода;

в) для мониторинга целостности нефтепровода применяются внутритрубные сканирующие устройства, которые не допускают сужение трубопровода [5].

Эти особенности показывают, что использовании мини-ГЭС будет весьма затруднительными, а необходимость обеспечения полнопроходного сечения трубопровода в настоящее время фактически исключают их использование.

Одним из наиболее важных элементов НПС является система автоматизации, которая предназначена для контроля, защиты и управления оборудованием НПС и способная обеспечивать автономное поддержание заданного режима работы НПС.

Одним из источников затрат электроэнергии на НПС являются технические средства систем автоматизации, а именно микропроцессорная система автоматизации НПС которая должна иметь трехуровневую структуру - нижний, средний и верхний уровни. Но вырабатываемой энергии с мини-гэс не достаточно чтобы обеспечивать достаточной энергией оборудования на НПС, поэтому наиболее целесообразно использовать мини-гэс на обеспечение электроэнергией технических средств, установленных на линейной части, куда неэкономично тянуть ЛЭП.

К таким техническим средствам можно отнести средства относящиеся к нижнему уровню системы автоматизации:

- датчики технологических параметров и исполнительные механизмы;
- приборы, регистрирующие давление;
- различные показывающие приборы, устанавливаемые по месту.

Использование мини-ГЭС позволит вырабатывать достаточно энергии, чтобы обеспечить работоспособность технических средств автоматизации и средств связи, которые применяются на контрольных точках нефтепровода, таких как вспомогательные инженерные сооружения и линейная часть магистральных нефтепроводов.

Газопровод — трубопровод, предназначенный для транспортирования природного газа из районов добычи к пунктам потребления. Основное средство передачи газа на значительные расстояния. Магистральный газопровод — один из основных элементов газотранспортной системы и главное составное звено Единой системы газоснабжения России [6].

Газопровод сооружается из стальных труб диаметром 720–1420 мм на рабочее давление 5,4–7,5 МПа. Прокладка магистральных газопроводов бывает:

- подземная (на глубину 0,8–0,1 м до верхней образующей трубы);
- надземная (на опорах);



– наземная (в насыпных дамбах).

Газопровод длиной в 1 км при нагревании на 1 градус °С удлиняется в среднем на 12 мм. Под действием температурных изменений возникают усилия, которые могут привести к сжатию или растяжению газопроводов.

Если газопровод не имеет возможности свободно изменять свою длину, то в стенках газопровода возникнут дополнительные напряжения. В процессе эксплуатации наземных газопроводов величина изменения температуры может достигать нескольких десятков градусов, что вызывает напряжения в несколько десятков МПа. Поэтому для предотвращения разрушения газопроводов от температурных усилий необходимо обеспечить его свободное перемещение. Устройствами, обеспечивающими свободное перемещение труб, являются компенсаторы - линзовые лиро - и П – образные [7].

На газопроводе так же как и на нефтепроводе используются технические средства систем автоматизации, которые в свою очередь так же являются источником затрат электроэнергии. Различные датчики технологических параметров, исполнительные механизмы, приборы регистрирующие давление, всем им нужна электроэнергия. Но в условиях расположения на дальних расстояниях возникает вопрос о доставке электроэнергии к данным техническим средствам.

Применение мини-ГЭС на газопроводе также затруднительно, но для выработки электроэнергии в труднодоступных местах, для обеспечения электроэнергией технических средств контроля параметров перекачки и передачи данных возможно.

В заключении можно предположить, что использование мини-турбин на газопроводах, где затруднительно прокладывать линию электропередачи возможно. Использование таких турбин окажет положительный эффект в виде выработанной энергии, для технических средств контроля и мониторинга за работой газопровода.

## Список литературы

1. Горев, В. В. «Металлические конструкции». В 3-х томах. Том 3. «Специальные конструкции и сооружения»: Учеб. для строит. вузов. Издание второе, исправленное. М.: Высшая школа, 2002. — 544 с.
2. «Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона»: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). — СПб.: 1890—1907.
3. Мини-ГЭС LucidPipe. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.lucidenergy.com>.
4. Юфин, В. А. «Трубопроводный транспорт нефти и газа». – М. : Недра, 1976.
5. Гумеров, А.Г.; и др. «Дефектность труб нефтепроводов и методы их ремонта» – М. : Недра, 1998.
6. Кудинов, В. И. «Основы нефтегазового дела», изд. «ИКИ», 2005, 720 стр.
7. Гольянов, А.И. «Газовые сети и газохранилища». Учебник для вузов.— Уфа: ООО Издательство научно-технической литературы Монография, 2004. - 303 с.: ил.

## **ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОБЪЕКТОВ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*Р.А. Кудряшов<sup>1</sup>, О.М. Кудряшова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Тюмень, ОАО «Гипротюменнефтегаз»,*

*<sup>2</sup>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Расчет электрических нагрузок является первым и основополагающим при проектировании электроснабжения. В соответствии с этим расчетом решаются вопросы режимов функционирования проектируемой системы электроснабжения, оценивается величина капитальных вложений в строительство электрической сети, производится выбор элементов сети электроснабжения, оценивается надежность и экономичность работы электрических сетей и систем в процессе эксплуатации.

От точности расчета электрических нагрузок зависит оптимальная работа системы электроснабжения, соотношение между рабочими - резервными элементами, экономические характеристики системы в процессе работы, эффективность капитальных вложений.

Вопросы определения электрических нагрузок не являются простыми. В условиях нефтяной и газовой промышленности Западной Сибири отмечается как завышение проектных нагрузок по сравнению с фактическими, так и (что более редко) их занижение. В связи с этим возможны промахи в выборе трансформаторных мощностей и сечений линий электропередачи. На неточность определения электрических нагрузок помимо чисто методических причин влияют также общеэкономические причины - резкое снижение объемов производства, неподтверждение заявленных запасов углеводородного сырья, изменившиеся горно-геологические условия добычи и т.п. Однако, примерно половина погрешности определения нагрузок приходится на методический фактор расчетов. В связи с этим, требуется серьезное внимание к методическим основам расчетов нагрузок, рассмотрение различных подходов к расчетам нагрузок, использование положительного опыта исследования и проектирования электрических систем и сетей.

Графики нагрузки нефте- и газоперекачивающих станций - относительно ровные, мало зависящие от времени года, времени суток, календарного времени (если не учитывать значительные в последние годы нагрузки системы электрообогрева трубопроводов в зимнее время). Число часов работы установок в год до 8000 ч. Для других потребителей нефтяной и газовой промышленности основные показатели приведены в [1,2].

Современные технические средства (информационно-измерительные системы, электронные счетчики с телеметрическим выходом типа Альфа, Альфа+, СЭТ) позволяют постоянно наблюдать за изменением электрических нагрузок, определять статистические характеристики графиков электропотребления, определять расчетные значения нагрузок, электропотребления, а в общих системах телеизмерения, создаваемых на уровне технологических цехов и систем – и удельные расходы электроэнергии.

В соответствии с "Указаниями по расчету электрических нагрузок в промышленных установках" 1968 года, которые до сих пор действуют, точность расчета нагрузок при проектировании электроснабжения установлена  $\pm 10\%$ , то есть предъявляются довольно мягкие требования к точности расчетов. Это связано как с некоторой неопределенностью развития производства, так и с тем, что мощности трансформаторов и сечения линий электропередачи имеют дискретные значения с интервалом дискретизации как правило не ниже, чем  $10\%$ .

В настоящее время при проектировании электроснабжения промышленных предприятий применяется довольно много различных методов определения электрических нагрузок. Их можно подразделить на четыре основные группы:

1. Методы, определяющие расчетную нагрузку путем умножения номинальной мощности на коэффициент, меньший единицы (методы коэффициента спроса, коэффициента использования).

2. Методы, определяющие расчетную нагрузку путем умножения средней нагрузки на коэффициент, больший или равный единице, или путем добавления к средней нагрузке некоторой величины, характеризующей отклонение расчетной нагрузки от средней (методы упорядоченных диаграмм, статистический)

3. Методы определения электрической нагрузки по удельным показателям производства.

4. Методы вероятностного моделирования.

Исследованиями последнего времени установлено, что применение методов упорядоченных диаграмм и статистического метода ограничено напряжением до 1000 В, как правило, эти методы применяются для расчетов нагрузок отдельных трансформаторных подстанций 6(10)/0,4 кВ и кабельных линий 0,4 кВ, питающих определенный технологический процесс.

В ОАО «Гипротюменнефтегаз» разработан метод вероятностного моделирования для типовой технологической установки, состоящей из определенного числа высоковольтных двигателей и прочей нагрузки, основанный на использовании модели упорядоченного графика нагрузки в виде двухступенчатой кратчайшей функции. Сущность этого метода и особенности его использования представлены в [3].

Для суммирования разнородных нагрузок рекомендуется метод парциальных расчетных нагрузок. Суммарная расчетная нагрузка опре-

деляется как сумма средней суммарной (получаемой простым сложением всех средних нагрузок) и расчетной геометрически взвешенной парциальной добавки, определяемой формой составляющих суммарный график нагрузки.

#### **Список литературы**

1. РД 39-0147323-803-89-Р "Указания по расчету и регулированию электрических нагрузок и потребления предприятий нефтяной промышленности", Главтюменнефтегаз, Гипротюменнефтегаз, 1989, 146 с.
2. Нормативная база проектирования электроснабжения нефтяных месторождений /Кудряшов Р.А., Малкова З.А., Новоселов Ю.Б., Фрайштетер В.П., «Нефтяное хозяйство», вып. 3, 2004, с. 37-39.
3. Кудряшов Р.А., Кудряшова О.М. Роль методического фактора при уточнении расчетного максимума мощности для нефтедобывающих предприятий// «Нефтяное хозяйство», 2004, №3, с. 82-83.

УДК 621.644.07

### **ВЫБОР БОКОВЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ**

*Е.В. Марков, С.А. Пульников, Ю.С. Сысоев*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Надежность и долговечность подземных трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) обеспечивается достоверной оценкой несущей способности оснований с учетом техногенных силовых и тепловых воздействий [1-5]. Свод правил СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» регламентирует методику расчета величины просадки оттаивающего грунта, а РСН 67-87 «Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза измерений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами» регламентирует методику численного расчета температурного режима с определением положения границы оттаивания ММГ.

Численный расчет температурного режима ММГ основан на методе конечных разностей для решения уравнения нестационарной теплопроводности в энтальпийной постановке по полностью явной разностной схеме. Применяется определенный набор граничных условий на поверхности

теплообмена «атмосфера-грунт» и на остальных поверхностях моделируемого массива грунта. Для подстилающей поверхности грунта предлагается использовать теплообмен по закону Ньютона. О возможных искажениях результатов моделирования, полученных при использовании этого закона, подробно расписано в работе [6]. Для боковых граней моделируемого массива грунта предлагается использование граничного условия типа «нулевой тепловой поток». Использование данного граничного условия обусловлено потребностью учета сезонных колебаний температур в приповерхностном слое грунта. Однако, наличие данного граничного условия приводит к необходимости отведения границы области численного анализа на расстояние в 2,5-3 раза больше, чем размеры тепловыделяющего объекта в плане, согласно требованиям того же документа. При этом указанное расстояние никак не зависит от формы подземной части сооружения и ее температуры.

Неосторожное обращение с граничными условиями типа «нулевой тепловой поток» может привести к существенному искажению результатов моделирования под воздействием «краевых эффектов». Оценочный расчет порядка малости краевых эффектов говорит о линейной зависимости величины «краевых эффектов» от разности между температурами сооружения и грунта на глубине нулевых годовых амплитуд [7]. Следовательно, чем горячее сооружение, тем больше величина краевых эффектов. Ограничение возможности для распространения тепла, как правило, приводит к его накоплению у границ расчетной области, повышению температуры всего исследуемого массива грунта, увеличению ореолов оттаивания, увеличению величины просадок и недостоверной оценке изменения температуры грунта на глубине нулевых годовых амплитуд в течение заданного срока эксплуатации сооружения.

Кроме граничного условия типа «нулевой тепловой поток» на боковых поверхностях можно задавать динамику температуры грунта в естественном залегании. Однако такой способ имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, требуется дополнительный расчет температурного поля. Во-вторых, краевые эффекты остаются, лишь меняются последствия их воздействия – тепло свободно покидает исследуемую область с температурными градиентами большими, чем есть в реальности. В результате снижаются расчетные величины ореолов оттаивания грунтового массива.

Актуальной задачей является разработка боковых граничных условий, позволяющих теплу беспрепятственно покидать расчетную область, учитывающих бесконечность моделируемого массива грунта.

Для введения граничных условий необходимо переформулировать задачу так, чтобы стало возможным учесть бесконечность на боковых границах (рисунок 1).

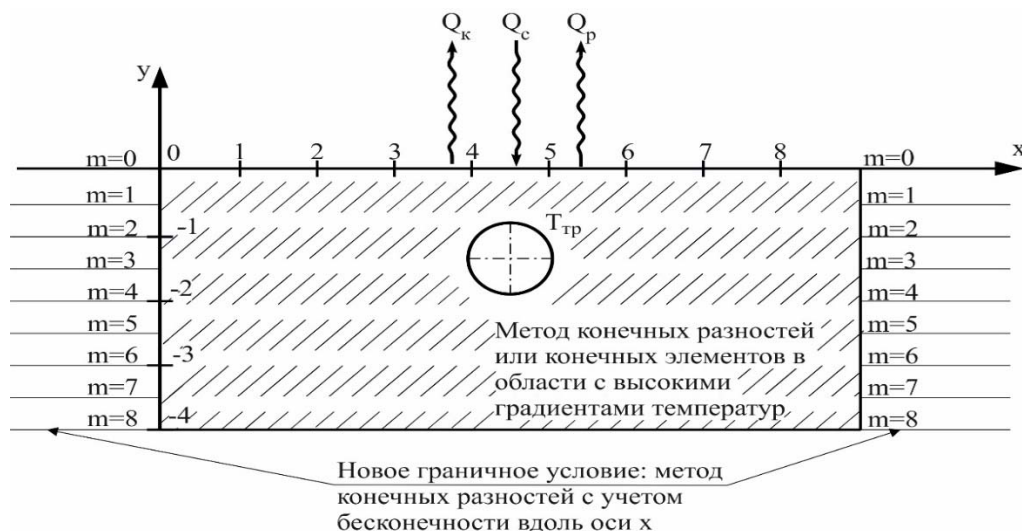


Рис. 1. Схема трубопровода в многолетнемерзлом грунте:  $m$  – номер сеточного узла вдоль оси  $y$ ;  $Q_k$  – конвективный тепловой поток;  $Q_c$  – тепловой поток солнечной радиации;  $Q_p$  – радиационный тепловой поток в инфракрасной области спектра;  $T_{тр}$  – температура поверхности трубопровода

Как и в РСН 67-87 здесь применяется метод конечных разностей. Но в нашем случае разностная схема для уравнения нестационарной теплопроводности в двумерной постановке запишется в следующем виде:

$$a \frac{T_{m+1}^{\tau+1} - T_{m+1}^{\tau}}{p} = \frac{T_{m+2}^{\tau} - 2T_{m+1}^{\tau} + T_m^{\tau}}{h^2} + \frac{\partial^2 T_{m+1}^{\tau+1}}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $p$  – шаг по времени,  $h$  – расстояние между узлами сетки вдоль оси  $y$ ,  $m$  – индекс сетки по координате,  $\tau$  – индекс шага по времени,  $x$  – координатная ось вдоль поверхности земли.

В данном случае температура является аналитической функцией координаты  $x$  и сеточной функцией координаты  $y$ , и времени  $t$ . При решении уравнения (1) необходимо учесть нестационарные граничные условия теплообмена на поверхности грунта, наличие фазового перехода при промерзании и оттаивании. Также необходимо произвести доказательство сходимости, аппроксимации и устойчивости разностной схемы (1).

Предложенная разностная схема для решения нестационарного уравнения теплопроводности позволит:

- учитывать граничные условия на бесконечности по одной из координатных осей;
- выбирать оптимальный размер расчетной области для сокращения машинного времени численных расчетов тепловых полей одновременно с повышением их точности.

## Список литературы

1. Алескерова З.Ш., Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Казакова Н.В. Оценка эффективности геотехнического мониторинга магистральных газопроводов по качеству

- производимой информации//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 3. С. 81-86.
2. Горковенко А.И., Вагнер В.В., Пульников С.А. Результаты исследований взаимодействий вибронегруженных магистральных подземных газопроводов с окружающими грунтами//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2007. № 4. С. 73-77.
  3. Иванов И.А. и др. Геотехнические проблемы трубопроводного транспорта: учебное пособие/И.А. Иванов, С.Я. Кушнир, С.А. Пульников. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 208 с.
  4. Карнаухов М.Ю., Лазарев С.А., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Исследование процесса формирования эксплуатационного положения протяженных участков МГ Уренгой – Челябинск в сложных гидрогеологических условиях//Газовая промышленность. 2015. № S724 (724). С. 53-58.
  5. Кушнир С.Я., Пульников С.А., Малюшин Н.А., Сенив Д.М. Пространственная устойчивость подземных магистральных трубопроводов//Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2012. № 1. С. 51-56.
  6. Марков Е.В., Пульников С.А., Гербер А.Д. Проблемы задания граничных условий при моделировании теплового взаимодействия «горячих» трубопроводов с многолетнемерзлыми грунтами//Фундаментальные исследования. 2015. № 2-10. С. 2106-2110.
  7. Марков Е.В., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Анализ типовых методик расчета глубины протаивания вечноммерзлых грунтов под трубопроводами//Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 142.

УДК 621.644.07

## **ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГНОЗНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

*Е.В. Марков*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Обеспечение устойчивости магистральных трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) является актуальной проблемой. ММГ, как правило, дают просадку при оттаивании, что приводит к изменению напряженно-деформированного состояния магистральных трубопроводов [1-5]. Среди причин, приводящих к переходу основания из мерзлого состояния талое, следует отнести следующие:

- техногенное тепловое воздействие сооружения - один из наиболее существенных и хорошо изученных факторов [6,7];
- изменение фильтрационного режима поверхностных вод, вызванное нарушением естественного сложения основания на этапе строительства объекта;
- изменение режима снежного покрова с образованием снежных наносов, приводящих к потере способности ММГ отдавать излишки тепла в атмосферу в зимний период;
- изменение климата в регионе строительства.

В данной работе рассматривается взаимосвязь температурного и фильтрационного режима ММГ.

Выполнение прогнозного теплотехнического расчета с целью определения возможных глубин ореолов оттаивания требует составления математической модели взаимодействия трубопроводов с ММГ. Модель составляется в следующей последовательности:

- 1) Создание модели грунта без сооружения. Ввод исходных данных.
- 2) Выполнение расчета с целью определения температурного режима ММГ в естественном состоянии, соответствующего натурным измерениям.
- 3) Создание геометрической модели грунта с учетом сооружения. Поиск величины ореолов оттаивания.

Третий этап должен в обязательном порядке учитывать возможность изменения фильтрационного режима основания под сооружением. Изменение режима фильтрации в поверхностном слое сезонно-мерзлых пород вызывает изменение влажности и засоленности, что непременно сказывается и на основных теплофизических свойствах: теплопроводности, теплоемкости, плотности, удельной теплоте фазового перехода, температуре начала замерзания.

Для оценки порядка значимости каждой из приведенных констант было проведено моделирование температурного режима грунта в естественном сложении для климатических условий г. Салехард (расчетная схема – см. рисунок 1).

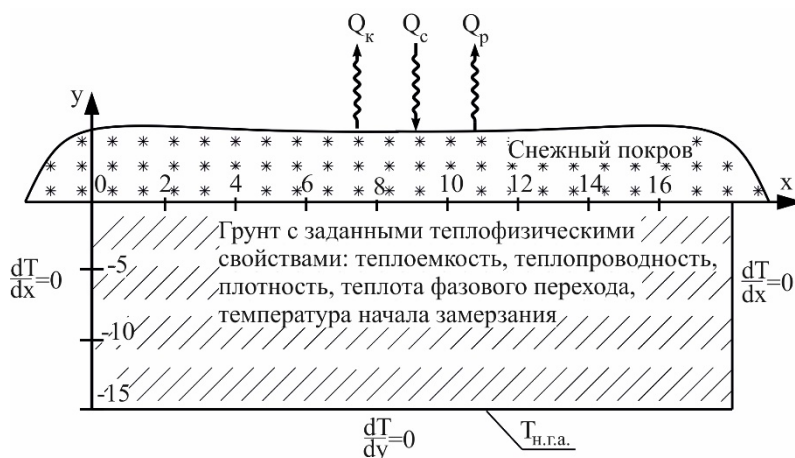


Рис. 1. Схема к расчету температуры на глубине нулевых годовых амплитуд:

$x, y$  – координатные оси;  $Q_k$  – конвективный тепловой поток;  
 $Q_c$  – тепловой поток солнечной радиации;  $Q_p$  – радиационный тепловой поток в инфракрасной области спектра;  $T$  – температура грунта;  $T_{н.г.а.}$  – температура на глубине нулевых годовых амплитуд

В каждом расчете менялся какой-либо один из перечисленных параметров. В результате была получена различная температура на глубине нулевых годовых амплитуд (таблица 1).



Таблица 1

Зависимость температуры на глубине нулевых годовых  
амплитуд от исходных данных

| Объемная теплоемкость                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Теплопроводность                               | Теплота фазового перехода | Температура начала заморозания, °C | Температура на глубине нулевых годовых амплитуд, °C |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| $C_{v, \text{мер}}, C_{v, \text{тал}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\lambda_{\text{мер}}, \lambda_{\text{тал}}$   | $L$                       | $T_{\text{н.з.}}$                  | -1,26                                               |
| $2C_{v, \text{мер}}, 2C_{v, \text{тал}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\lambda_{\text{мер}}, \lambda_{\text{тал}}$   | $L$                       | $T_{\text{н.з.}}$                  | -1,13                                               |
| $C_{v, \text{мер}}, C_{v, \text{тал}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $2\lambda_{\text{мер}}, 2\lambda_{\text{тал}}$ | $L$                       | $T_{\text{н.з.}}$                  | 0,46                                                |
| $C_{v, \text{мер}}, C_{v, \text{тал}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\lambda_{\text{мер}}, \lambda_{\text{тал}}$   | $2L$                      | $T_{\text{н.з.}}$                  | 0,39                                                |
| $C_{v, \text{мер}}, C_{v, \text{тал}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\lambda_{\text{мер}}, \lambda_{\text{тал}}$   | $L$                       | $T_{\text{н.з.}} - 2,75$           | -1,16                                               |
| $C_{v, \text{мер}} = 0,756 \text{ МДж}/(\text{К} \cdot \text{м}^3), C_{v, \text{мер}} = 0,954 \text{ МДж}/(\text{К} \cdot \text{м}^3), \lambda_{\text{мер}} = 1,9 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м}), \lambda_{\text{тал}} = 1,55 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м}), L = 43434 \text{ Дж}/\text{кг}, T_{\text{н.з.}} = -0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ |                                                |                           |                                    |                                                     |

Из таблицы 1 очевидно, что наибольшее влияние на температуру грунта на глубине нулевых годовых амплитуд оказывает изменение теплопроводности и удельной теплоты фазового перехода вода-лед. При значительном изменении данных параметров грунт способен полностью переходить в талое состояние, что говорит о полной деградации многолетнемерзлых грунтов.

Основной причиной, вызывающей изменение рассмотренных характеристик, является нарушение естественного фильтрационного режима ММГ в результате техногенного воздействия на грунт (разработка и засыпка траншей, замена грунта на песок) [8]. Поэтому недостаточно с высокой точностью определять параметры грунта при выполнении инженерных изысканий и затем применять их в прогнозных теплотехнических расчетах. Данные расчеты должны учитывать движение жидкости в грунтовой среде, поскольку изменение влажности в сторону увеличения будет значительно ускорять процесс деградации многолетнемерзлых пород.

#### Выводы

Выполнен анализ основных причин, вызывающих деградацию многолетнемерзлых пород.

Проведено численное исследование возможности существования многолетней мерзлоты в грунтах с различными теплофизическими свойствами.

Сделано заключение о необходимости учета фильтрационного режима ММГ при выполнении прогнозного теплотехнического расчета.

#### Список литературы

1. Алескерова З.Ш., Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Казакова Н.В. Оценка эффективности геотехнического мониторинга магистральных газопроводов по качеству продуцируемой информации//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 3. С. 81-86.

2. Горковенко А.И., Вагнер В.В., Пульников С.А. Результаты исследований взаимодействий вибронагруженных магистральных подземных газопроводов с окружающими грунтами//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2007. № 4. С. 73-77.
3. Карнаухов М.Ю., Лазарев С.А., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Исследование процесса формирования эксплуатационного положения протяженных участков МГ Уренгой – Челябинск в сложных гидрогеологических условиях//Газовая промышленность. 2015. № S724 (724). С. 53-58.
4. Кушнир С.Я., Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Карнаухов М.Ю. Аналитическая задача определения удлинения газопровода в области аркообразования//Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. № 4. С. 74-80.
5. Кушнир С.Я., Пульников С.А., Малюшин Н.А., Сенев Д.М. Пространственная устойчивость подземных магистральных трубопроводов//Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2012. № 1. С. 51-56.
6. Марков Е.В., Пульников С.А., Гербер А.Д. Проблемы задания граничных условий при моделировании теплового взаимодействия «горячих» трубопроводов с многолетнемерзлыми грунтами//Фундаментальные исследования. 2015. № 2-10. С. 2106-2110.
7. Марков Е.В., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Анализ типовых методик расчета глубины протаивания вечномерзлых грунтов под трубопроводами//Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 142.
8. Ястребов А.Л. Инженерные коммуникации на вечномерзлых грунтах / А.Л. Ястребов. – Л.: Стройиздат, 1972. – 176 с.

УДК 620.179.16

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТРУБОПРОВОДОВ

*Д.Р. Мартюк, П.В. Чепур*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Процессы коррозии, приводящие к нарушению технического состояния и постепенному разрушению трубопроводов являются актуальной проблемой при эксплуатации существующих газо- и нефтепроводов. Наименее затратным и экономически выгодным является своевременное определение дефектов и повреждений стенки трубопроводов методами неразрушающего контроля (НК). Одним из наиболее распространенных методов неразрушающего контроля является акустический.

Согласно решения Технического совещания ОАО «Транснефть» от 15.08.2013 по внедрению дефектоскопов на фазированных решетках для выполнения работ по диагностике перемычек, участков технологических трубопроводов и участков ЛЧ МН, не подлежащих ВТД, все организации, выполняющие диагностические обследования перемычек между магистральными трубопроводами, коллекторов МНА и напорных нефтепроводов НПС( ЛПДС, ПСП), участков технологических трубопроводов и участков ЛЧ МН, не под-

лежащих ВТД, при проведении работ по ультразвуковому контролю основного металла должны использовать дефектоскоп на фазированных решетках с роликовым датчиком типа CWP-05-64-08-05-veo или аналогичным, в зависимости от применяемой ультразвуковой системы.

Применение дефектоскопов на фазированных решетках с роликовым датчиком для обследования участков трубопроводов, описанных выше, имеет недостатки. Существуют альтернативные приборы, не соответствующие требованиям решения ОАО «Транснефть», но дающие более лучшие и точные результаты по сравнению с требуемым прибором. Наиболее подходящие с экономической, практической стороны – дефектоскопы с локальной иммерсионной ванной. Было решено провести обследования труб DY 1220 с помощью дефектоскопа Olympus RollerFORM на фазированных решетках с роликовым датчиком и дефектоскопа Olympus Hydroform с локальной иммерсионной ванной.

Было обследовано 5 участков на трубопроводе диаметром 1220 и толщиной 15 мм, 5 участков на трубопроводе диаметром 530 мм и толщиной 15 мм каждым дефектоскопом.

В ходе использования дефектоскопа на фазированных решетках с роликовым датчиком Olympus HydroFORM выяснилось, что прибор из-за недостаточной зачистки поверхности, человеческого фактора дает неточные результаты и пропуски участков исследования трубопровода DY 1220, которыми на диаграмме являются участки белого цвета. (Рис.1)

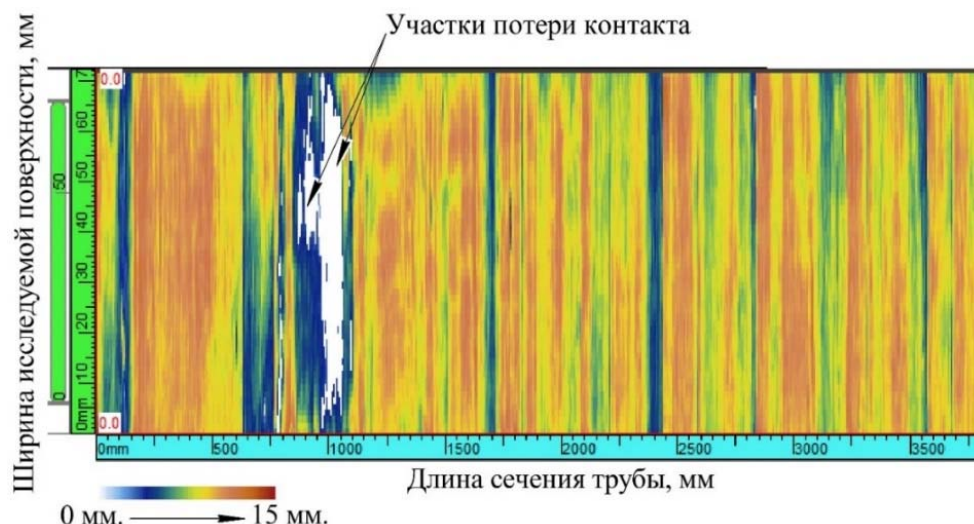


Рис. 1 Данные дефектоскопии с участками потери контакта

Оказалось, что применение на практике дефектоскопа Olympus RollerFORM с роликовым датчиком для неразрушающего контроля, вследствие потери контакта с исследуемой поверхностью, не дает точных результатов. Сигнал, генерируемый прибором, не поступает обратно на

датчик. Проблема частично решается контактной жидкостью, но не все ошибки устранимы.

Отличие применения дефектоскопа с иммерсионной ванной от роликового состоит в том, что постоянный контакт прибора с поверхностью обеспечивает иммерсионная ванна.

Согласно данным РД можно сделать вывод, что дефектоскоп Olympus HydroFORM с иммерсионной ванной позволяет зафиксировать все дефекты без потери контакта (области потери контакта при использовании Olympus RollerFORM на каждой диаграмме 5-10 %) и подходит лучше для диагностики трубопроводов (рис. 2)

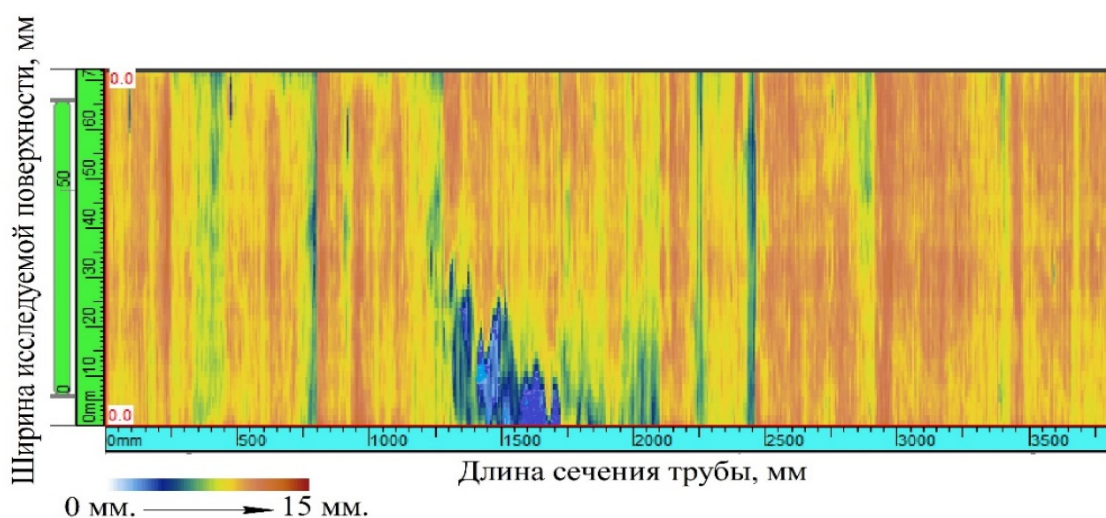


Рис. 2. Данные исследования с применением дефектоскопа Olympus HydroFORM

Т.к. в РД ОАО «Транснефть» указано что все отклонения амплитуды выше 40% подлежат фиксации, можно сделать вывод что роликовый дефектоскоп не дает более точные данные исследования по сравнению с методом с локальной иммерсионной ванной.

Метод с ИВ за счет постоянного контакта между преобразователем и трубой фиксирует все отклонения амплитуды. Также метод имеет ряд преимуществ:

1. Ультразвуковому контролю могут подвергаться трубы, имеющие черновую зачистку поверхности, высадку. Следовательно, применение данного дефектоскопа позволяет получать данные без тщательной подготовки поверхности.

2. С уменьшением диаметра исследуемого трубопровода возрастает площадь потери контакта и результаты более неточные при использовании дефектоскопа с фазированными решетками с роликовым датчиком Olympus RollerFORM. Предлагаемый прибор дает одинаковый результат независимо от характера поверхности.

3. Участки потери контакта составляют 5-10 % от общей площади исследования при использовании Olympus RollerFORM. При использовании дефектоскопа с иммерсионной ванной такие ошибки отсутствуют.

4. Повышается надежность работы преобразователя за счет того, что преобразователь может быть отнесен от поверхности трубы на достаточно большое расстояние.

5. Дефектоскоп с иммерсионной ванной позволяет фиксировать расслоения в толще материала, т.к. установлен ПЭП с частотой 7.5 МГц в отличие от 5 МГц в Olympus RollerFORM

6. Стоимость дефектоскопа для ультразвукового неразрушающего контроля с иммерсионной ванной меньше по сравнению с дефектоскопом с роликовым датчиком.

### Список литературы

1. Тарасенко А.А., Саяпин М.В. Результаты статистической обработки измерений неравномерных осадок наружного контура днища вертикальных стальных резервуаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1999. № 1. С. 52-56.
2. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко Д.А. Противоречия в современной нормативно-технической базе при ремонте резервуаров // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-15. С. 3400-3403.
3. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Определение действующих напряжений от подъемных устройств при ремонте фундамента резервуара // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-11. С. 2421-2425.
4. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Кузовников Е.В., Тарасенко Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния приемо-раздаточного патрубка с дефектом с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-7. С. 1471-1476.
5. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А., Николаев Н.В. Принцип независимости действия сил при расчете напряженно-деформированного состояния стенки резервуаров // Известия вузов "Нефть и газ". Тюмень, 1998. №4. С. 73-77.
6. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Влияние параметров неравномерной осадки на возникновение предельных состояний в резервуаре // Фундаментальные исследования. 2014. № 8-7. С. 1560-1564.
7. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Методика определения необходимости ремонта резервуара при осадках основания // Фундаментальные исследования. 2014. № 8-6. С. 1336-1340.
8. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Конечно-элементная модель вертикального стального резервуара с усиливающими элементами при его подъеме гидродомкратами // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-5. С. 1003-1007.
9. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Определение оптимального количества тросов поддержки днища при подъеме резервуара // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2014. № 5. С. 72-78.

## TRENCHLESS METHODS

*М.Р. Меджидов, Т.А. Островерхова*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Trenchless technologies in pipeline installation, replacement, repairing have been having an intensive development over the last twenty years.

In most Russian cities due to the lack or absence of appropriate equipment and materials communications are produced mainly by the open method. This leads to a sharp increase in the cost of the work, as well as to the necessity of the destruction of road surfaces and blocking traffic. Solution recovery and pipelines are seen in the widespread use of trenchless technologies with the use of special equipment.

Trenchless technology refers to technology to install, replace, repair, inspection and detection of defects in underground communications for various purposes with a minimum opening of the earth's surface. This article gives description of several engineering decisions in trenchless technologies being used today.

### ***Horizontal directional drilling method***

This laying technique is particularly environmentally friendly, since it causes minimal ecological damage, which is restricted to areas in close proximity to the system.



Fig.1. Horizontal directional drilling method

Various factors also highlight the need for this directional drilling technology even in urban areas. The technique is superior for laying pipes in open trenches in terms of construction times and costs, approval procedures, earth displacement, surface reclamation and traffic disruptions. Soil is loosened and flushed out in various stages using a drilling fluid. The first step is to create a pipe duct by means of a pilot bore. Then, in further steps the final pipe duct is widened and the pipe is introduced with the help of an insertion device.

### ***The earth displacement methods with non-steered impact moles.***

Earth displacement methods have proven their worth for three decades as a technique for underground pipe laying. Using a pneumatically driven displacement hammer, an underground cavity is created, in which long plastic or metal pipes of up to DN 200 can be inserted, preferably without joint ends. The pipes are inserted in lengths of up to 40 m and depending on the soil, this can be done either simultaneously or in a second individual operation.



Fig.2. Earth displacement methods with non-steered impact moles

This technique allows trenchless crossing of transport routes, building connections, preparation of anchorages, circumvention of obstacles and other measures.

### ***Dynamic ramming method with non-steered rams***

The ramming method involves pneumatically actuated pipe hammering machines deployed for dynamic pipe jacking.

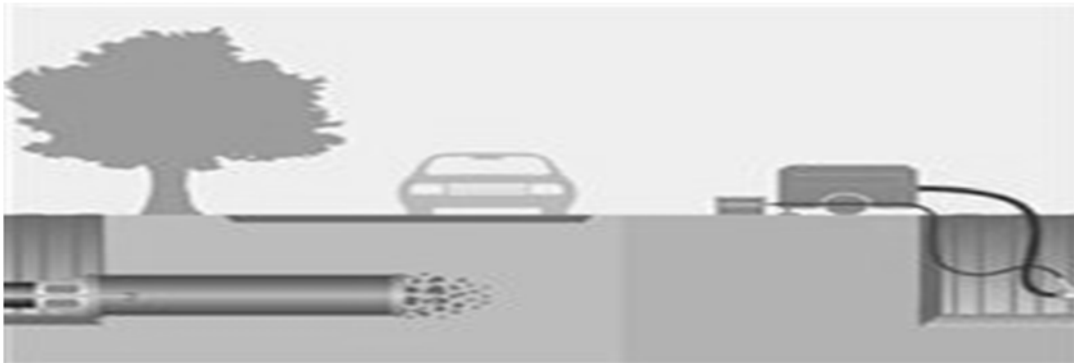


Fig.3. Dynamic ramming method with non-steered rams

This method allows open steel pipes as casing or product pipes up to 4000 mm in diameter to be installed over lengths of up to 80 m in soil classes 1-5 (partly even soil class 6 – easily soluble rock) particularly economically without jacking abutments under track systems, highways and rivers.

### ***The plow method***

The plow technique has been successfully used since the 1970s for laying power and telephone lines. It is particularly suitable for large, open sections in rural areas where long lengths of pipeline are required. However, the plow method can also be employed over shorter distances and for pipes in less accessible locations. Laying such pipes on steep slopes and traversing areas of water (up to 1.20 m deep) is no problem from a technical perspective thanks to the blade shape with four jibs adjustable in all directions.

### ***Burstlining***

Burst lining, a trenchless pipe-bursting method, is used for repairing damaged pipelines by retaining or enlarging the hydraulic cross-section. Together with the in-situ soil, the broken material compacted into the ground forms an annular space, into which the new pipeline attached to the bursting unit is introduced. The bursting machine proceeds through the old pipe, shatters it with dynamic impact energy and pushes out the fragments into the surrounding soil. At the same time, a new pipe of equivalent or larger diameter is threaded. The old drilling path must be usable for the new pipeline. To ensure safe, leak-proof and professional joints, side ports or curves must be open. The soil around the old pipeline must be displaceable and the distance to the existing lines should be more than  $> 0.5$  m.

### ***Ploughing***

Ploughing is the fast and possibly most cost-effective method of laying new plastic pipes. The technique used has a minimal impact on the subsoil and is therefore considered to be environmentally friendly. A winch is used to pull a plough blade and pipe-laying unit through the ground. Once the pipe has been installed, the furrow (trench) is automatically closed as the plough blade advances. This method is also suitable for the parallel installation of several pipelines. As the soil initially displaced by the plough is re-used without any further processing, the pipes deployed have to be highly resistant to point, i.e. concentrated, loads.

### ***Relining (long pipe)***

In the case of relining, a new solid-wall pipe is inserted into the damaged existing pipe. The result is a fully operational piping system that is comparable to a newly installed pipe and is thus subject to the same accounting standards as a new system. It is essential that pipes installed by means of relining are assessed thoroughly in terms of their hydraulic properties because the circumference of the new pipe will be smaller than that of the old one.

Trenchless technologies of pipe laying continue to progress into more challenging applications, that gives the contractor the possibility to choose any of these methods.

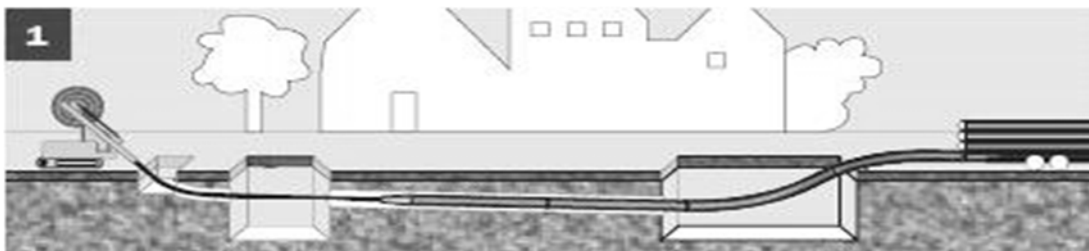


Fig.4. Relining



## **РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ПЕТЕЛЬ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА**

*К.Р. Муратов, Р. А. Соколов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Контроль свойств стали является очень важным процессом в различных отраслях промышленности. Известно, что изменение свойств стали происходит в результате изменения ее структуры, что может быть вызвано обработкой стали давлением, в процессе сварки, при прокатке, а также закалке и отпуске. Указанные выше механические и термические воздействия на сталь, на этапах производства и эксплуатации изделий часто вызывает рост усталостных изменений, эти изменения приводят к преждевременному старению материал, и как следствие, к различного рода техногенным катастрофам.

Поэтому важно контролировать свойства стали и изделий из стали. Для этого используются разрушающие методы контроля (измерения твердости; испытания на коррозионную стойкость), а также методы неразрушающего контроля, например магнитную структуроскопию применяемую для магнитных сталей.

В магнитной структуроскопии снимаются петли магнитного гистерезиса, состоящие из большого числа экспериментальных точек. Но только некоторые из этих точек используются для структуроскопии: коэрцитивная сила, магнитная проницаемость, релаксационная коэрцитивная сила, дифференциальная магнитная проницаемость и др.

Приведенные выше магнитные параметры ферромагнетика, а также механические и структурные свойства имеют некоторую корреляционную зависимость между собой [1,2], которая устанавливается экспериментально. Часто коэффициенты корреляции для этих зависимостей не очень высоки.

В структуроскопии также хорошо известны и апробированы методы, основанные на анализе ЭДС индукции в измерительной катушки с помощью цифрового анализатора спектра и дискретного преобразования Фурье [3].

Далее полученные гармоники Фурье – спектра ЭДС связываются с изменением структурных свойств материала. В этом случае фактически используются все точки петли магнитного гистерезиса.

Однако, при таком виде анализа существуют факторы снижающие достоверность результатов, а именно, наличие вихревых токов, которые ограничивают глубину промагничивания и искажающие амплитуду и фазу выходного сигнала.

Целью работы является исследование возможности использования преимуществ гармонического анализа петель магнитного гистерезиса, полученных методом квазистатического перемагничивания.

Квазистатические петли гистерезиса ферромагнетиков можно снимать с помощью современных магнитометров (например, модель КРМ – Ц – МА). В такого рода приборах (как и в предлагаемой работе) ток намагничивания и размагничивания, а, следовательно, и напряженность поля, описывается некоторой пилообразной функцией. Это позволяет сделать замену  $t = H/k$ . Таким образом, можно получить представление петель аналогичное временному представлению, симметрично отображая нисходящую (верхнюю) ветвь каждой из петель относительно вертикальной прямой, проходящей через точку  $H_{\max}$  (рис. 1).

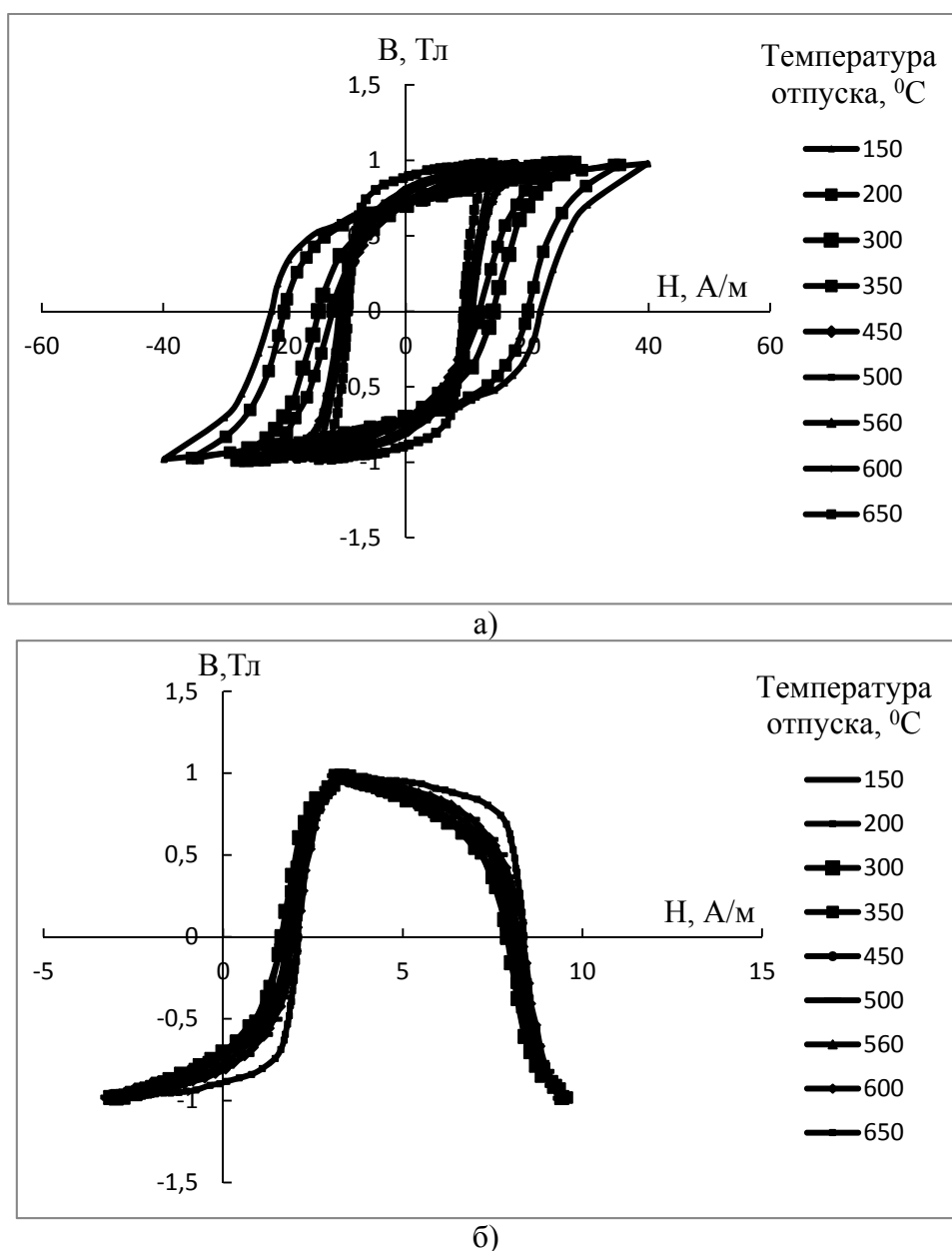


Рис.1. Петли гистерезиса стали 34ХН3М отпущенной при различных температурах: а) в исходном виде; б) развернутые петли приведенные к периоду  $2\pi$ .

Полученные в результате зависимости, определяются периодическим сигналом с периодом равным  $2\pi$  и которые могут быть разложены в ряд Фурье [4].

Полученные зависимости амплитуд третьей, пятой и седьмой гармоник приведены на рис. 2.

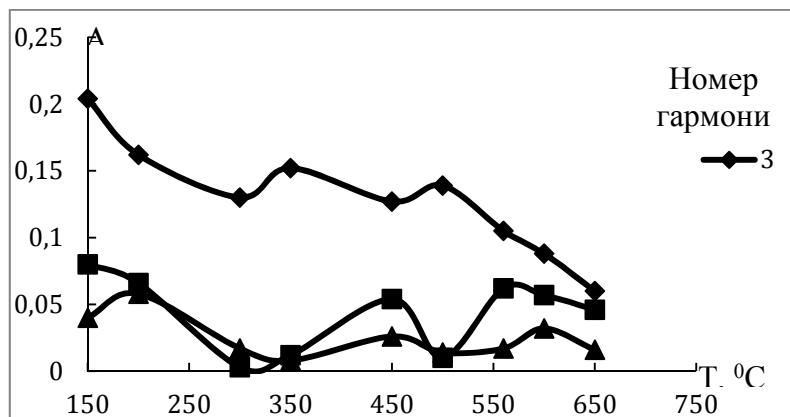
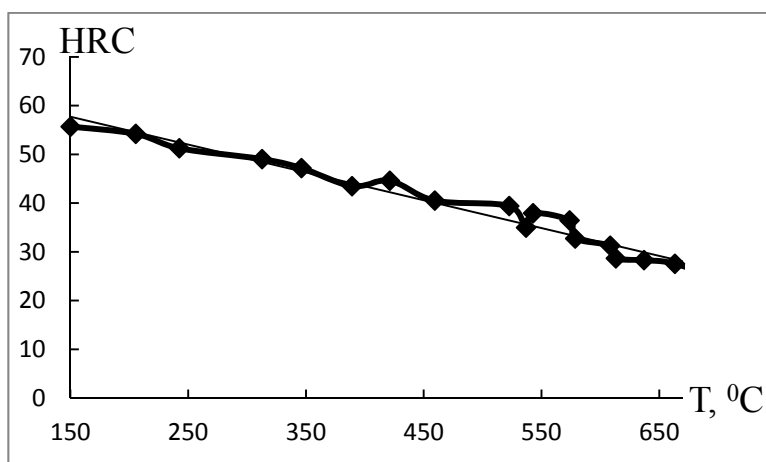


Рис.2. Зависимости амплитуд нечетных гармоник фурье-спектра петлей гистерезиса для стали 34ХН3М от температуры отпуска

В работе [1] показано, что в диапазоне температур отпуска от 150 °С до 250 °С, для стали 34ХН3М наблюдается изменение намагниченности насыщения, обусловленное процессом распада мартенсита, интенсивно протекающим при температуре около 200 °С, и продолжающимся при более высоких температурах заходящим в область температур 300 – 325 °С, и одновременным процессом распада остаточного аустенита и снятием закалочных напряжений.

Такой отпуск сопровождается резким изменением структуры стали и соответственно им изменением физических свойств, которые можно рассмотреть на примере коэрцитивной силы и твердости, зависимости для которых приведены на рис. 3.



а)

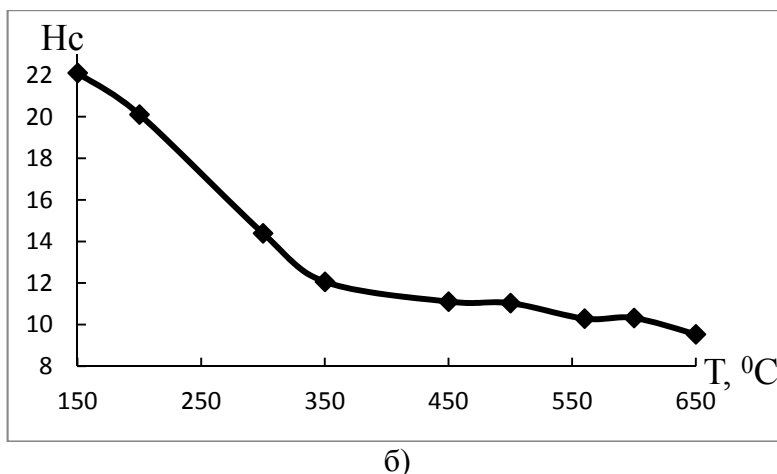


Рис.3. Величина твердости и коэрцитивной силы для стали 34ХН3М отпущенной при различных температурах: а) твердости; б) коэрцитивной силы.

Из приведенного графика для амплитуд 3 – й, 5 – й, 7 – й гармоник, можно заметить, что соответствующие им амплитуды существенно убывают в данном диапазоне температур. Сравнивая зависимости амплитуд гармоник и величины коэрцитивной силы, и твердости от температуры отпуска можно заметить корреляционную зависимость между их величинами.

При дальнейшем повышении температуры отпуска в диапазоне 250 – 450 °С происходит распад мартенсита на цементит и феррит сопровождающийся уменьшением закалочных напряжений, происходит рост карбидных частиц, форма их начинает приближаться к равноосной. Искажения решетки твердого раствора снижаются. Закономерная ориентировка решеток  $\alpha$ –фазы и цементита сохраняется до температуры 650 – 680 °С. В этом диапазоне происходит небольшой рост амплитуд 3 – й, 5 – й, 7 – й гармоник, а также замедление падения величины коэрцитивной силы.

В интервале температур 450 – 650 °С происходит рекристаллизация матрицы, легирование цементита карбидообразующими химическими элементами, очищение решетки  $\alpha$ –Fe от углерода и коагуляция карбидных частиц, т.е. растворение мелких карбидных частиц и рост более крупных, происходит снижение пластических свойств и ударной вязкости, что объясняется дроблением блоков  $\alpha$  – фазы. Эти процессы взаимосвязаны и ведут к росту среднего размера частиц. При температурах 550 – 600 °С имеет место растворение карбидов из-за повышения предела растворимости углерод в  $\alpha$ –Fe, происходит снятие напряжений, обусловленное завершением процесса измельчения блоков, а, следовательно, и устранение искажений решетки вызванных их связанностью. На графиках этому соответствует падение амплитуды нечетных гармоник, а также дальнейшее падение величины твердости и коэрцитивной силы, Также можно заметить корреляционную зависимость между амплитудой 5-й гармоник и величиной коэрцитивной силы в этом интер-

вале температур, которая проявляется в возрастании значений этих величин при температуре 500 °С и 600 °С.

В интервале температур 350 – 550 °С может происходить коагуляция и сфероизация карбидных частиц связанные с повышением температуры или продолжительности отпуска. Пик дисперсионных напряжений обусловленный обособлением кристаллов карбидов от твердого раствора приходится на диапазон 400 – 500 °С.

В результате можно говорить о том, что представленные результаты отражают чувствительность гармонических составляющих к структурным изменениям в стали и соответствующим им изменениям твердости и коэрцитивной силы, а именно снятие напряжений, выделение карбидов их изменения в результате увеличения температуры отпуска, что может служить дополнительным средством неразрушающего контроля структурных изменений в сталях.

#### Список литературы

1. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. Наука. 1993. – 50–75 с.
2. Бида Г.В., Горкунов Э.С., Шевнин В.М. Магнитный контроль механических свойств проката. Изд-во УрО РАН. 2002. – 252 с.
3. Пономарев Ю.Ф. Гармонический анализ намагниченности ферромагнетиков, переманичиваемых переменным полем, с учетом магнитного гистерезиса. IV. Применение к неразрушающему контролю. Дефектоскопия. 1986. – 67–78 с.
4. Белашов В.Ю., Чернова Н.М. Эффективные алгоритмы и программы вычислительной математики. СВКНИИ ДВО РАН, 1997. – 160 с.

УДК 519.63+533.6

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ПРИ КОЛЬЦЕВОЙ СХЕМЕ НАГРЕВА**

*А.Г. Обухов<sup>1</sup>, Е.М. Сорокина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет,

<sup>2</sup>Тюмень, Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова

При получении, переработке и хранении жидкостей и газов часто используются контейнеры различной формы. При локальном изменении температуры в таких контейнерах возникают сложные по конфигурации конвективные течения. Такого рода конвективные течения в зависимости от технологических условий могут быть необходимыми

или нежелательными. В любом случае правильные технологические решения, связанные с возникающими конвективными течениями жидких или газообразных веществ, невозможны без их детального и всестороннего исследования, без понимания сути происходящих в них физических процессов. Именно с этим связана актуальность математического моделирования возникновения и последующего развития конвективных течений указанных веществ в замкнутых областях различной геометрической формы.

Ранее в работах [1,2] была сделана попытка описать возникающее при нагреве подстилающей поверхности конвективное течение вязкого теплопроводного газа в замкнутой области в форме прямоугольного параллелепипеда. При этом нагрев осуществлялся в центре нижней грани расчетной области в виде круга конечного радиуса.

Целью же данной работы является численный расчет газодинамических характеристик в начальной стадии формирования трехмерного нестационарного конвективного течения газа или жидкости как сжимаемой сплошной среды, вызванного локальным кольцеобразным прогревом нижней поверхности расчетной области.

При описании сложных течений жидкости и газа используется математическая модель упругой сплошной среды, основанная на решении полной системы уравнений Навье-Стокса [3-6]. Эта модель наиболее адекватно описывает физические процессы в указанных течениях, поскольку учитывает диссипативные свойства вязкости и теплопроводности.

Полная система уравнений Навье-Стокса, записывается в безразмерных переменных с учетом действия силы тяжести и безразмерными значениями коэффициентов вязкости и теплопроводности  $\mu_0 = 0.001$ ,

$$\kappa_0 \approx 1.458333 \mu_0.$$

Эта система в дифференциальной форме передает законы сохранения массы, импульса и энергии в движущейся сплошной среде. А кроме того через уравнения состояния корректно учитывает законы термодинамики.

Начальные условия при описании конвективных течений сжимаемой вязкой теплопроводной сплошной среды в случае постоянных значений коэффициентов вязкости и теплопроводности в данной работе берутся в виде набора пяти функций плотности, температуры и трех компонентов вектора скорости частиц, задающих известное точное аналитическое решение полной системы уравнений Навье-Стокса [7].

Расчетная область представляет собой куб с единичными безразмерными значениями сторон.

Для плотности на всех шести гранях куба, исходя из неизменности потока за пределами расчетной области, ставится «условие симметрии» [8]. Это означает, что на граничной плоскости предполагается равенство нулю

производной функции плотности в направлении нормали к граничной поверхности.

Для температуры на пяти гранях куба задаются условия теплоизоляции («условие симметрии»)[8].

На нижней плоскости значения температуры в кольце между concentрическими окружностями с безразмерными значениями радиусов  $r=0.1$  и  $r=0.3$  заданы в виде функции, моделирующей кольцеобразный локальный нагрев нижней грани расчетного куба.

Краевые условия для компонент вектора скорости частиц сплошной среды на всех шести гранях соответствуют «условиям непротекания» для нормальной к граничной плоскости составляющей вектора скорости и «условиям симметрии» для двух других компонент вектора скорости течения [8]. Данные краевые условия фактически означают рассмотрение конвективного течения вязкой сжимаемой теплопроводной сплошной среды в непроницаемой и теплоизолированной кубической емкости.

Расчетная область заполняется трехмерной сеткой узлов пересечения трех семейств плоскостей с соответствующими разностными шагами по трем пространственным переменным.

Зная в начальный момент времени  $t=0$  во всех точках куба все искомые функции с помощью явной разностной схемы вычисляются значения искомых функций в последующий момент времени во внутренних точках куба, во внутренних точках каждой из граней, ребер и вершин.

Расчеты проводились при следующих входных параметрах. Масштабные размерные значения плотности, скорости, расстояния и времени равны соответственно  $1.2928 \text{ кг/м}^3$ ,  $333 \text{ м/с}$ ,  $10 \text{ м}$ ,  $0.03 \text{ с}$ . Разностные шаги по трем пространственным переменным  $0.01$ ,  $0.01$ ,  $0.1$ , а шаг по времени  $0.001$ . Нагрев осуществлялся от температуры  $15$  градусов до  $36$  градусов по шкале Цельсия.

Проведенные расчеты показывают, что периферийные значения плотности, близкие к боковым граням расчетной области, для каждого отдельного фиксированного момента времени меняются незначительно. В центральной части боковых граней значения плотности больше, а в углах — меньше. Общее фоновое безразмерное значение плотности с течением времени увеличивается от  $1$  до  $1.02$ , что соответствует изменению размерных значений в пределах от  $1.2928 \text{ кг/м}^3$  до  $1.3187 \text{ кг/м}^3$ .

Распределение плотности в начале нагрева имеет форму кольца, центр которого совпадает с геометрическим центром квадратного сечения расчетной области, а радиус его совпадает с радиусом кольца нагрева. С течением времени происходит расширение кольца с повышенными значениями плотности и его размывание в пространстве вплоть до боковых граней расчетного куба.

С течением времени меняется и геометрическая симметрия плотности. В начале кольцеобразного прогрева нижней поверхности плотность газа имеет четко выраженную центральную симметрию, а с течением времени область центральной симметрии, расширяясь к боковым граням, меняется на прямоугольную.

Поведение рассчитанных значений температуры как функций координат и времени отлично от аналогичного поведения плотности. Периферийные значения температуры в начале прогрева также близки к единичному, а с течением времени наблюдаются немонотонные их изменения. В рассчитанном диапазоне временных шагов эти значения температуры меняются в пределах от 1 до 1.0025 (в размерных значениях от  $15^{\circ}\text{C}$  до  $15.72^{\circ}\text{C}$ ).

Что касается геометрической симметрии, то с течением времени она для температуры практически не меняется со временем и сохраняет четко выраженную кольцеобразную центральную симметрию. Отличием поведения температуры от поведения плотности является существенно большее увеличение ее в центральной области до значений 1.01 (размерное значение  $17.88^{\circ}\text{C}$ ). Это увеличение температуры имеет вид колокола, что связано с более интенсивным прогревом центральной области. Кольцеобразный нагрев подстилающей поверхности, очевидно, сказывается на поведении температуры нагрева на фиксированной высоте в центральной части исследуемой области и визуализируется в виде воронки в центре колоколообразной поверхности.

Поведение первой компоненты скорости течения за рассчитанное время можно характеризовать следующим образом. В центре расчетной области скорости малы по значению, противоположны по знаку, и имеют четко выраженную кольцевую структуру, соответствующую кольцевой схеме нагрева нижней плоскости. Положительные и отрицательные значения первой компоненты скорости, находящиеся за пределами кольцевого нагрева, описывают расходящееся от центра вдоль радиуса движение среды. Разные же по знаку скорости, но находящиеся внутри кольца нагрева, соответствуют сходящемуся вдоль радиуса к центру потоку среды. Максимальные безразмерные значения модулей скоростей для данного расчетного момента времени составляют  $2 \cdot 10^{-10}$  (размерное значение  $6.66 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$ ).

Для 300 расчетного шага по времени (рис.1) область, соответствующая движению среды от центра расширяется, а область движения среды к центру сужается. При этом максимальные значения модулей скорости увеличиваются до  $2 \cdot 10^{-5}$  (размерное значение  $0.0067 \text{ м/с}$ ). Такие изменения первой компоненты скорости течения согласуются с нарастанием температуры кольцеобразного нагрева.



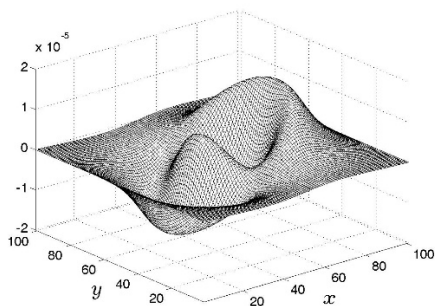


Рис.1. Первая компонента скорости  
на 300 шаге по времени

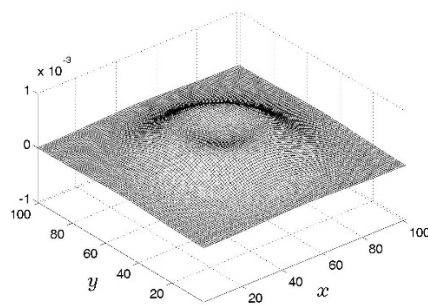


Рис. 2. Вертикальная скорость  
на 300 шаге по времени

К 10000 расчетному шагу по времени область, соответствующая движению газа от центра практически доходит до боковых граней. Максимальные значения модулей скорости увеличивается до  $0.04$  (размерное значение  $13.32 \text{ м/с}$ ). Расчеты показали, что изменение  $x$ -ой компоненты скорости газа имеет ярко выраженный нестационарный характер. Кроме того, в начальные моменты времени общая структура скоростей имеет центральную симметрию, а с течением времени она изменяется и приобретает прямоугольный характер.

Характер поведения  $y$ -ой компоненты скорости газа полностью аналогичен поведению  $x$ -ой компоненты скорости газа, с той лишь разницей, что она описывает движение газа в направлении оси  $y$ . В результате, несмотря на принятую в расчетах прямоугольную систему координат, поведение первых двух компонент скоростей соответствует движению среды с центральной кольцевой симметрией. Поэтому нестационарный конвективный поток в условиях действия силы тяжести при такой схеме нагрева сохраняет центральную симметрию.

Вертикальная составляющая скорости течения в начальные моменты времени нагрева имеет кольцевой характер с очень малыми значениями  $5 \cdot 10^{-8}$  (размерное значение  $1.67 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$ ) и периферийными значениями, равными нулю. На 300 расчетном шаге по времени (рис. 2) периферийные значения вертикальной скорости по-прежнему близки к нулю, а кольцообразная структура размывается в пространстве. При этом безразмерные значения вертикальной скорости  $10^{-3}$  (размерное  $0.333 \text{ м/с}$ ). С 2000 расчетного шага по времени периферийные значения вертикальной компоненты скорости становятся отрицательными и на 3000 расчетном шаге становятся равными  $-0.015$  (размерное  $-5 \text{ м/с}$ ). В центре расчетной области значения вертикальной скорости также отрицательные, но имеют куполообразную форму со значениями, близкими к нулю. Такое пространственное распределение значений вертикальной составляющей скорости говорит о том, что движение газа с 2000 расчетного шага по времени направлено вертикально вниз и скорость этого движения больше на периферийных участках и меньше в центральной части расчетной области.

На рисунках 3-4 представлены результаты расчета линий тока, выпущенных с плоскости  $z=0$ , движущейся сплошной среды для двух расчетных шагов по времени.

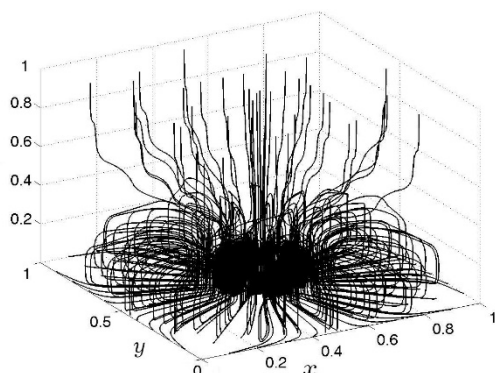


Рис. 3. Линии тока на 1500 шаге

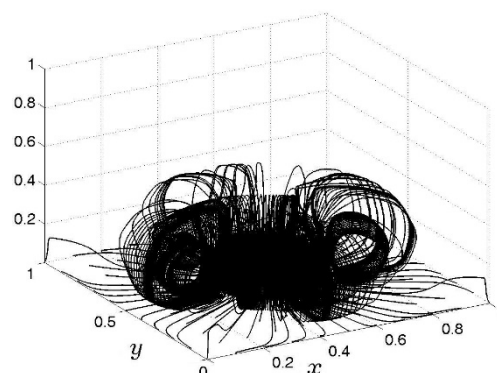


Рис. 4. Линии тока на 3500 шаге

Анализ построенных численно линий тока позволяет сделать следующие замечания относительно возникающего конвективного потока. К 500 расчетному шагу по времени линии тока в основном сосредоточены над источником кольцеобразного нагрева в виде тора, имеют значительную густоту и занимают часть пространства по высоте до 0.2 (размерное значение до 2 м). С точки зрения движения сплошной среды такое распределение линий тока к данному моменту расчетного времени означает формирование тороидального конвективного потока газа большой интенсивности вблизи источника нагрева подстилающей поверхности. Тот факт, что конвективный поток в основном расположен вблизи подстилающей поверхности говорит о том, что прогрев основной части изолированного резервуара еще незначительный и конвективный поток не может преодолеть влияние силы тяжести.

По мере увеличения времени прогрева конвективный поток, захватывая все большие слои, увеличивается в размерах. Температура в кольце нагрева возрастает до значений, достаточных для преодоления силы тяжести вертикальным конвективным потоком (рис. 3).

Начиная с некоторого момента времени (конкретно с 3000 расчетного шага), начинается процесс уменьшения геометрических размеров потока (рис. 4). Из расчетов следует, что при сохранении большой интенсивности (густота линий тока) линейные размеры конвективного потока постепенно уменьшаются с течением времени и к 4000 шагу достигает высоты 0.2 (размерное значение 2 м) и радиуса 0.2 (размерное 2 м). Такое поведение конвективного течения объясняется, по-видимому, тем, что повышение температуры приводит к повышению давления в расчетном объеме и, как следствие, к сокращению размеров области конвекции.

## Список литературы

- 1 Обухов А. Г., Сорокина Е. М. Математическое моделирование и численный расчет трехмерного конвективного течения газа//Известия вузов. Нефть и газ. – 2013. – № 6. – С.57–63.
- 2 Сорокина Е. М., Обухов А. Г. Численное исследование температурной зависимости скоростных характеристик нестационарного конвективного течения газа//Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математические науки. Информатика. – 2014. – № 7. – С. 147–156.
- 3 Баутин С. П. Представление решений системы уравнений Навье-Стокса в окрестности контактной характеристики//Прикладная математика и механика. – 1987. – Т.51, вып. 4. – С. 574–584.
- 4 Баутин С. П., Обухов А. Г. Математическое моделирование разрушительных атмосферных вихрей. – Новосибирск: Наука, 2012. – 152 с.
- 5 Баутин С. П., Обухов А. Г. Математическое моделирование придонной части восходящего закрученного потока//Теплофизика высоких температур. – 2013. – Т.51. – №4. – С.567–570.
- 6 Баутин С. П. Характеристическая задача Коши и ее приложения в газовой динамике. – Новосибирск: Наука, 2009. – 368 с.
- 7 Баутин С. П., Обухов А. Г. Одно точное стационарное решение системы уравнений газовой динамики//Известия вузов. Нефть и газ. – 2013. – № 4. – С.81–86.
- 8 Баутин С. П., Обухов А. Г. Об одном виде краевых условий при расчете трехмерных нестационарных течений сжимаемого вязкого теплопроводного газа//Известия вузов. Нефть и газ. – 2013. – № 5. – С.55–63.

УДК 621.825

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОДМУФТОВОГО СЛОЯ КЛЕЕСВАРНОЙ МУФТЫ

*А.А. Подолян*

*Украина, Киев, Национальный технический университет Украины Киевский политехнический институт*

Большая часть магистральных газопроводов эксплуатируется более 20 лет и нуждается в ремонте. Классический метод ремонта, предполагающий остановку трубопровода с последующей заменой его дефектного участка, требует значительных финансовых затрат и связан с вынужденным простоем трубопровода и экологическими нарушениями. Сложное экономическое положение страны и невозможность перекрытия основного канала поставки российского газа в Европу стимулировало разработку методов ремонта газопроводов под давлением, без вывода их из эксплуатации. Основным методом, не требующим остановки транспорта газа является ремонт с помощью муфт с наполнением (клеесварных муфт) [1,2]. Принцип муфтового ремонта иллюстрируется упрощенным рисунком (рис.1). С

наружи дефектного участка трубопровода произвольной длины устанавливается металлическая оболочка, а пространство между трубой и оболочкой заполняется под давлением самотвердеющим веществом. В результате чего нагрузка с дефектной трубы передаётся на оболочку, называемую муфтой. Муфты могут привариваться к телу трубы, или иметь независимую конструкцию. [1,3] От правильности монтажа муфт зависит эффективность, безопасность эксплуатации, надёжность и долговечность ремонтируемого магистрального трубопровода высокого давления [2].

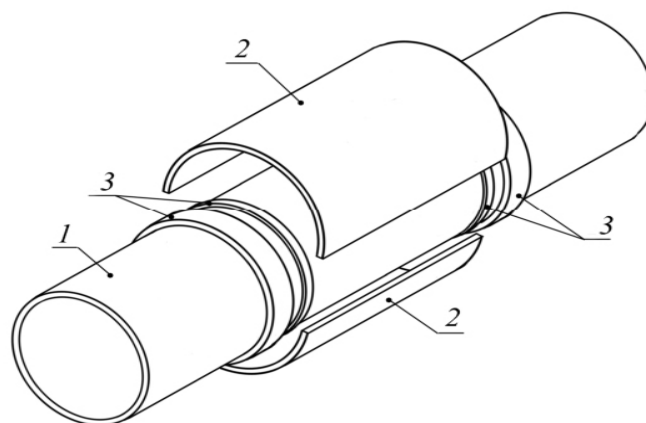


Рис. 1 Схема муфтового ремонта  
1 – трубопровод, 2 – муфта, 3 – самотвердеющее вещество

Важным вопросом, который должен быть решён при наполнении самотвердеющего вещества в подмуфтовое пространство, является удаление растворённого в нём газа (воздуха), являющегося основной причиной сжимаемости жидких веществ. Уровень растворённого в жидком самотвердеющем веществе газа обычно повышается во время перемешивания компонентов массы с помощью миксера, который обычно проводят непосредственно перед его запрессовкой в подмуфтовое пространство (процесс смешивания основы и отвердителя). Количественной характеристикой данных свойств жидкого вещества является коэффициент сжимаемости, который связан с объёмным модулем упругости простым соотношением [4]:

$$\beta = -\frac{dV}{V_{00} \cdot dP} = \frac{1}{E_{00}},$$

где  $V_{00}$  - начальный объём жидкого вещества,  $dP$  - изменение давления, вызывающее изменение объёма на величину  $dV$ ,  $E_{00}$  - объёмный модуль упругости жидкого вещества.

Согласно [4,5], растворимость газов в жидкостях зависит от ряда внешних факторов, наиболее существенными из которых являются темпе-

ратура жидкого вещества, давление на границе между жидкостью и газом и площадь их контактной границы. При увеличении температуры и снижении давления растворимость газов в жидкости уменьшается, что приводит к частичному удалению газа из жидкости и, как следствие, к повышению модуля упругости подмуфтового слоя.

В связи с этим предлагается следующая технология (рис. 2).

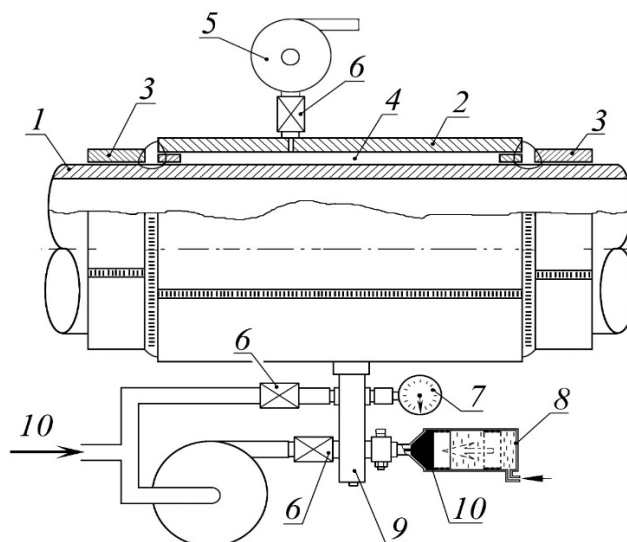


Рис. 2 Использование вакуумного насоса

1 – трубопровод, 2 – муфта, 3 – технологические кольца, 4 – подмуфтовое пространство, 5 – вакуумный насос, 6 – краны, 7 – манометр, 8 – шприц, 9 – коллектор, 10 – самотвердеющая масса, 11 – нагнетатель

Непосредственно перед запрессовкой самотвердеющее вещество помещают в резервуар, внутри которого создают разрежение (пониженное давление). Жидкое вещество выдерживают в плоском резервуаре определённое время, требуемое для выделения из него части растворённого газа (воздуха). После этого, жидкое самотвердеющее вещество подают в подмуфтовое пространство. Первичное заполнение подмуфтового пространства желательно проводить путём всасывания с помощью вакуумного насоса 4 (рис. 2), а для создания требуемого давления могут использоваться шприц 5 и нагнетатель 6, подключённые к муфте через коллектор 7. Для повышения эффективности удаления газа, процедура выдерживания вещества в резервуаре с пониженным давлением может быть совмещена с его нагревом.

Процесс монтажа муфты на действующий трубопровод должен контролироваться, при этом особому контролю должен подвергаться этап формирования подмуфтового слоя [6].

Установка клеесварных муфт, заполняемых самотвердеющим веществом под давлением позволяет провести качественный ремонт дефектных

участков магистральных трубопроводов без вывода их из эксплуатации. Разработанный способ удаления воздуха из вещества, формирующего подмуфтовый слой, позволяет повысить эффективность ремонта и надёжность ремонтируемого трубопровода в целом.

Дальнейшие исследования предполагается проводить в направлении совершенствования технологий ремонта действующих магистральных трубопроводов с помощью паяно-сварных муфт, а так же в направлении совершенствования муфтовых конструкций и методов контроля качества их монтажа на трубе.

### Список литературы

1. ГБН В.3.1-00013741-12:2011. Магистральные газопроводы, ремонт дуговой сваркой в условиях эксплуатации: - К.: Министерство энергетики и угольной промышленности Украины, 2011. – 152 с.
2. Пат. на изобретение 82038 Украина, МПК (2006) F16L 55/00, G01M 3/00. Способ муфтового ремонта дефектного участка действующего трубопровода с контролем качества монтажа / Бут В.С., Мандра А.С., Подолян А.А. и др.; заявл. 27.11.2007; опубл. 25.02.2008, бюл. №4.
3. Система контроля качества монтажа клеесварной муфты на магистральном газопроводе высокого давления газопроводов / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян // Научные вести национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". – Киев: Изд-во НТУУ "КПИ", 2012 – Вып.6 – С.138-144.
4. Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика. 3-е изд. / Карапетьянц М. Х. - М., Химия, 1975 - 583 с.
5. Кричевский И.Р. Фазовые равновесия в растворах при высоких давлениях. / Кричевский И.Р. - М.Л., ГНТИХЛ, 1952 - 168 с.
6. Подолян А.А. Система контроля качества монтажа муфты с внутренним заполнением на действующем трубопроводе : автореф. дисс. на соискание учёной степени канд. техн. наук. : 05.11.13 - приборы и методы контроля и определения состава веществ - К., 2013. – 24 л.

УДК 621.644.07

## ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

*С.А. Пульников<sup>1</sup>, Ю.С. Сысоев<sup>1</sup>, С.А. Лазарев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет

<sup>2</sup>Сургут, ООО «Газпром трансгаз Сургут»

Требования, предъявляемые к безопасности и надежности объектов газотранспортных систем, эксплуатируемых в инженерно-геологических условиях III категории сложности, непрерывно повышаются [1]. В течение последних 10 лет активно разрабатываются специализированные норма-

тивные документы и внутренние стандарты организаций, направленные на совершенствование оценки и обеспечения их технического состояния на высоком уровне. Наиболее эффективным инструментом для контроля и прогнозирования технического состояния сооружений, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях, сегодня зарекомендовал себя геотехнический мониторинг (ГТМ) [2-4].

В течение последних пяти лет геотехнический мониторинг стал неотъемлемой частью всех крупных проектов газотранспортных систем, реализуемых в Западной Сибири. И сегодня накоплен достаточный опыт для анализа эффективности и выявления проблем, связанных с внедрением и организацией геотехнического мониторинга на крупных площадных объектах и линейной части [5-8].

Как и любая система диагностирования, система геотехнического мониторинга при создании проходит все стадии реализации: методическая – разработка методологии ГТМ; проектирование – разработка программы и проекта ГТМ; строительство – создание системы ГТМ; эксплуатация – исполнение программы ГТМ.

В методическом отношении принципы, цели и задачи геотехнического мониторинга в актуальной нормативной документации проработаны достаточно четко и в полной мере информируют о сути эффективного ГТМ. Однако что касается порядка проектирования и строительства систем ГТМ, то требования к этим этапам достаточно обтекаемы, что на площадках крупных предприятий привело к ряду проблем как на этапе внедрения, так и на этапе эксплуатации.

В первую очередь проектирование систем ГТМ осложнено отсутствием у предприятий-заказчиков и у проектных организаций квалифицированных кадров, способных, совмещая в одном лице компетенции инженеров-изыскателей, -геологов и -строителей, составлять правильное техническое задание на создание системы ГТМ в зависимости от имеющихся исходных материалов и стадии реализации проекта.

Не владея компетенцией и знанием, что программа ГТМ, проект ГТМ и проект системы ГТМ это совершенно разные категории работ, реализуемые на разных стадиях подготовки проектной, рабочей и исполнительной документации по объекту, зачастую предприятие-заказчик требует от проектной организации на стадии разработки проектной документации или основных технических решений разработать проект системы ГТМ. Проектная организация в свою очередь не способна выполнить эти работы в должном объеме по причине отсутствия с одной стороны квалифицированных в вопросах ГТМ кадров, с другой – завершенной рабочей документации.

Зачастую в дальнейшем эти работы передаются на субподряд специализированной организации, которая в условиях недостатка исходных материалов вынуждена разрабатывать проект системы ГТМ, не содержащий

детализированной рабочей документации для строителей. В результате на стадии строительства, руководствуясь не чертежами, а схемами, возникают проблемы с однозначным устройством элементов сети ГТМ. Впоследствии в процессе строительства объекта элементы сети ГТМ могут быть нарушены или заблокированы близлежащими конструкциями, становясь не пригодными для эксплуатации (рис.1).

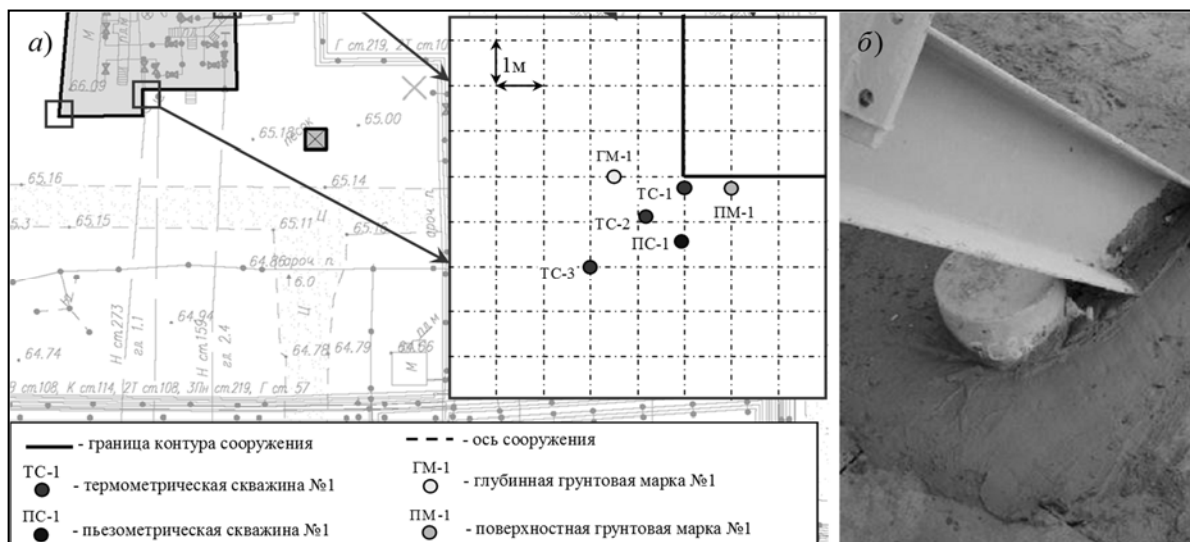


Рис. 1. а) Схема расположения элементов сети из проекта ГТМ; б) термометрическая скважина, заблокированная элементами конструкции

На этапе строительства основной проблемой является низкое качество монтажа элементов сети и отсутствие жестких правил относительно способа их устройства. К тому же большинство рекомендованных нормами конструкций элементов сети ГТМ в настоящее время не актуально. Особенно это касается конструкции деформационных марок. При техническом освидетельствовании и обследовании сетей ГТМ на крупных объектах нефтегазовой отрасли в пределах одной промплощадки встречаются до восьми различных конструкций деформационных марок, что усложняет выполнения работ по нивелированию по причинам:

- невозможно обеспечить однообразную установку нивелирных реек, что приводит к невозможности выполнить серию измерений при одинаковых условиях;

- возникает необходимость применения нескольких методик геодезической съемки и обработки результатов.

Конструктивно часть деформационных марок (конструктивных типов) имеют недостаточную жесткость и надежность, что в ходе эксплуатации сооружения приводит к их деформациям или разрушению (рис. 2).





Рис. 2. Примеры неэффективных конструкций деформационных марок, задействованных в сети ГТМ в пределах одной промплощадки

Монтаж марок зачастую выполняется небрежно и без четкой системы ориентирования на методику выполнения геодезических нивелировочных работ:

- без учета климатических и конструктивных условия площадки: марки привариваются на недостаточной высоте и блокируются для визирного луча геодезических приборов близлежащими конструкциями, а в зимний период – снегом;
- на одинаковых по типу конструкциях (например, ГПА) не соблюдается строгий порядок приварки марок в одних и тех же узлах и точках;
- марки располагаются внутри контура сооружения, а не снаружи, что затрудняет постановку рейки и ее ориентирование на визирный луч геодезического прибора.

На этапе эксплуатации эффективность сети ГТМ зависит от качественного исполнения программы ГТМ и возможности анализировать результаты, полученные в разные периоды съемки. Как правило, при анализе программы ГТМ объектов выявляются проблемы:

- перечень, состав и периодичность работ по ГТМ назначается всем объектам на площадке без учета индивидуальных особенностей сооружений: что приводит к неэффективному распределению объемов работ;
- на объекте не всегда присутствует собственная служба ГТМ, способная в полном объеме исполнить требования программы ГТМ;
- отсутствие единых правил отчетности для обеспечения сходимости результатов ГТМ независимо от периода проведения работ и исполнителя;

Проблемы на этапах разработки, внедрения и эксплуатации систем геотехнического мониторинга, встречающихся на предприятиях нефтегазовой отрасли, можно объединить в три группы:

#### I. Идеологическая.

Проблема связана с негативным опытом, непониманием и недостаточной информированностью разных уровней управленческих и исполнительных кадров о целях, задачах, структуре и потенциальной пользе ГТМ при его правильном применении. Отсутствие методически грамотно проработанных программ и проектов мониторинга приводит к тому, что результаты отдельных работ невозможно увязать друг с другом и провести интегральную оценку или прогноз геотехнического состояния объекта.

## II. Кадровая.

В проектных, строительных организациях и у персонала службы ГТМ отсутствует необходимая подготовка для оценки и интерпретации результатов ГТМ, а также для принятия управленческих решений или обоснования предупреждающих мер. Сегодня служба ГТМ по большей части играет роль исполнителей работ по сбору данных и составлению отчетов о пространственном положении конструкций, термометрии, пьезометрии, гидрологии и т.п.

## III. Техническая и методологическая.

Проблема обусловлена средой внедрения - сложными инженерно-геологическими и геокриологическими условиями, в которых эксплуатируются объекты. Несмотря на то, что в последние годы активно развивается аппаратная база и нормативная документация, ориентированные на особые условия эксплуатации объектов, многие предлагаемые методы ГТМ разрабатывались для простых условий и к сложным, зачастую, не приспособлены.

Отсутствует наглядная преемственность результатов ГТМ при выполнении работ разными подрядчиками, а также мера опасности фиксируемых процессов по отношению к техническому состоянию геотехнических систем. Кроме того, прогнозные оценки экологической и инженерно-геологической обстановок на объектах в условиях криолитозоны являются объемной методологической проблемой, требующей полевых изысканий и исследований.

Процесс внедрения сложных диагностических систем исторически всегда труден и продолжителен, однако если еще 5-7 лет назад организация систем ГТМ на объектах добычи, транспорта и хранения углеводородов рассматривалась как источник дополнительных расходов, то сегодня уже есть понимание, что это главный инструмент экономии, достижения качества и безопасности строительства и эксплуатации нефтегазовых объектов.

Дефицит квалифицированных инженерно-геотехнических кадров, способных решать эти задачи, уже ощущается крупными компаниями, в срочном порядке проводящих поиск организаций, способных на должном уровне подготовить требуемых специалистов. Необходимые компетенции по разделу инженерно-геотехнических изысканий находятся на стыке инженерной геологии и строительной механики. Глав-

ную роль в решении этой задачи могут сыграть только профильные нефтегазовые вузы, регионально-ориентированные на решение геотехнических проблем в отрасли.

#### Список литературы

1. Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Карнаухов М.Ю., Лазарев С.А. Проблемы внедрения систем геотехнического мониторинга на объектах газо-транспортной системы ОАО «Газпром»//Геотехника. 2014. № 5/6. С. 77-83.
2. Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Гербер А.Д., Карнаухов М.Ю. Методика обработки данных мониторинга пространственного положения эксплуатируемого участка подземного магистрального газопровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Уфа: Изд-во ИПТЭР, 2013. Вып. 3 (93). С. 58-66.
3. Алескерова З.Ш., Пульников С.А., Сысоев Ю.С., Казакова Н.В. Оценка эффективности геотехнического мониторинга магистральных газопроводов по качеству продуцируемой информации//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 3. С. 81-86.
4. Карнаухов М.Ю., Лазарев С.А., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Исследование процесса формирования эксплуатационного положения протяженных участков МГ Уренгой – Челябинск в сложных гидрогеологических условиях//Газовая промышленность. 2015. № S724 (724). С. 53-58.
5. Марков Е.В., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Анализ типовых методик расчета глубины протаивания вечномерзлых грунтов под трубопроводами//Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 142.
6. Марков Е.В., Пульников С.А., Гербер А.Д. Проблемы задания граничных условий при моделировании теплового взаимодействия «горячих» трубопроводов с многолетнемерзлыми грунтами//Фундаментальные исследования. 2015. № 2-10. С. 2106-2110.
7. Вагнер В.В., Пульников С.А., Кушнир С.Я. Распределение стрелы прогиба арочного выброса по длине подземного газопровода//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2008. № 4. С. 101-105.
8. Кушнир С.Я., Карнаухов М.Ю., Пульников С.А., Сысоев Ю.С. Анализ пространственных перемещений магистральных газопроводов с определением граничных зон//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2011. № 5. С. 72-75.

УДК 622.692.4.07

#### **АНАЛИЗ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА В ТРАССОВЫХ УСЛОВИЯХ**

*Д.А. Серебренников, В.В. Визе*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Транспортировка нефти и нефтепродуктов, а так же газа осуществляется преимущественно с помощью самого эффективного и безопасного вида транспорта – трубопроводного. Поэтому к трубопроводам предъявля-

ются высокие требования по защите от агрессивного воздействия окружающей среды. Чтобы защитить трубопроводы от коррозии применяется комплексная изоляция, включающая в себя не только изоляционное покрытие, но и электрохимическую защиту.

В данной статье рассматриваются типы современной антикоррозионной изоляции трассового нанесения, их состав, преимущества и недостатки, а так же особенности их применения.

Антикоррозионные покрытия применяемые при изоляции в трассовых условиях бывают нескольких типов [1].

Полимерные ленточные покрытия - покрытия, состоящие из:

- слоя адгезионной грунтовки,
- слоя полимерной ленты толщиной не менее 0,6 мм
- слоя защитной полимерной обертки толщиной не менее 0,6 мм.

Общая толщина покрытия не должна быть менее 1,2 мм. Пик применения данного покрытия был зафиксирован в нашей стране в 70-80х годы. Область применения - наружная изоляция трубопроводов, сварных стыков. Примерный срок службы данного покрытия составляет 7-15 лет. Достоинства и недостатки полимерного ленточного покрытия представлены в таблице 1.

Таблица 1

Достоинства и недостатки полимерного ленточного покрытия

| Достоинства                                                | Недостатки                                                  |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Высокая прочность и сопротивляемость износу                | Низкое сопротивление гниению адгезионного подслоя покрытия  |
| Низкая проницаемость воды и кислорода                      | Низкая устойчивость к сдвигу под воздействием осадки грунта |
| Хорошие диэлектрические характеристики                     | Недостаточно высокая ударная прочность покрытий             |
| Широкий температурный диапазон применения от -20°C до 60°C |                                                             |

Битумно-мастичные покрытия – покрытия состоящие из:

- слоя битумной или битумно-полимерной грунтовки (раствор битума в бензине),
- два или три слоя изоляционной мастики - битумно-резиновой мастики, битумно-полимерной мастики (с добавками полиэтилена, атактического полипропилена), битумной мастики с добавками термоэластопластов, мастики на основе асфальтосмолистых соединений (типа "Асмол»),

между которыми находится армирующий материал – стеклохолст или стеклосетка,

– наружный слой из защитной обертки (полимерные защитные покрытия толщиной не менее 0,5 мм), слой армирующего материала, наружный слой защитной полимерной обертки, грунтовка битумная/битумно-полимерная, битумная/битумно-полимерная мастика, второй слой изоляционной мастики/армирующего материала.

Общая толщина битумно-мастичного покрытия для покрытия трассового нанесения нормального типа должна быть не менее 4,0 мм.

Область применения - защита трубопроводов малых и средних диаметров от коррозии, работающих в нормальных температурных условиях. Такое покрытие стало применяться редко, потому что на рынке появились более стойкие и современные материалы. Срок эксплуатации битумно-мастичных покрытий составляет 10-15 лет. Достоинства и недостатки битумно-мастичного покрытия представлены в таблице 2.

Таблица 2

Достоинства и недостатки битумно-мастичного покрытия

| Достоинства                                                     | Недостатки                                                                |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Считается одним из самых дешевых антикоррозионного покрытия     | Небольшой температурный диапазон применения от -10°C до +40°C             |
| Простота нанесения и большой опыт применения                    | Недостаточно высокая ударная прочность и стойкость к продавливанию        |
| Работает совместно со средствами электрохимической защиты (ЭХЗ) | Увеличение объема покрытия из-за поглощения им воды в обводненных грунтах |

Комбинированные мастично-ленточные покрытия (типа «Пластобит»)  
– покрытие состоящее из:

- грунтовок - ГПБ-1, ГТ-831, ГТ-760 ИН или битумной,
- битумно-полимерной мастики - «Изобитен-Н,
- полимерной или поливинил-хлоридной изоляционной ленты,
- защитной обёртки - обёрточного материала рулонного типа с прочностью не менее 0,5 МПа и толщиной в пределах 0,5–1,2 мм

Данное покрытие применяют в основном при проведении работ по ремонту нефтепроводов и замене старой битумной изоляции [1]. Срок эксплуатации комбинированного мастично-ленточного покрытия составляет 15-20 лет [2, 3]. Достоинства и недостатки комбинированных мастично-ленточных покрытий представлены в таблице 3.

## Достоинства и недостатки комбинированных мастично-ленточных покрытий

| Достоинства                                                             | Недостатки                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Низкая стоимость покрытия, относительно полимерного ленточного покрытия | Небольшой температурный диапазон применения<br>от -10°C до +40°C                   |
| Обладают повышенной прочностью и пластичностью                          | Повышенное влагопоглощение в обводненных грунтах                                   |
| Увеличенный срок службы (15-20 лет)                                     | Недостаточная стойкость в щелочных средах, которая приводит к отслаиванию покрытия |

Анализируя характеристики антикоррозионных покрытий, применяемых при изоляции в трассовых условиях, можно сделать вывод: использование битумно-мастичных покрытий в настоящее время - нецелесообразно в связи с тем, что существуют более стойкие и современные материалы. На замену битумно-мастичным покрытиям пришли комбинированные мастично-ленточные покрытия, обладающие повышенной прочностью и пластичностью и увеличенным сроком эксплуатации в тяжелых климатических условиях [2, 3].

## Список литературы

1. Давыдов А.Н., Иванов В.А., Серебренников Д.А., Берг В.И. Определение зависимостей свойств изоляционных покрытий от условий эксплуатации трубопровода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Москва, 2014. № S4. С.169-173.
2. Иванов В.А., Серебренников Д.А., Давыдов А.Н. Исследование влияния температуры окружающей среды и срока эксплуатации изоляции на её физические свойства // Экспозиция Нефть Газ. г. Набережные Челны, № 6(38), 2014. С.100-101.
3. Иванов В.А., Серебренников Д.А., Давыдов А.Н. Анализ и классификация способов очистки наружной поверхности трубопровода от дефектной изоляции // Экспозиция Нефть Газ. г. Набережные Челны, № 6(31), 2013. С.25-26.

УДК 621.644.07

## АВАРИИ И ОСЛОЖНЕНИЯ В БЕСТРАНШЕЙНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРУБОПРОВОДОВ

*И.В. Сороштанов<sup>1</sup>, В.С. Торопов<sup>2</sup>, С.Ю. Торопов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Надым, ОАО «Газпром трансгаз Югорск»

<sup>2</sup>Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет

Метод горизонтального направленного бурения, обладает большими преимуществами по сравнению с другими бестраншейными технологиями, но при этом имеет свои технические и организационные проблемы.

В частности, в условиях широкого применения технологии ГНБ во всех регионах РФ и доступности буровых установок класса «мини», наблюдается рост числа эксплуатируемой техники ГНБ этого класса за счет приобретения ее в основном на вторичном рынке и роста числа малых непрофессиональных предприятий.

Это привело к росту как числа аварий, так и числа незавершенных строительством объектов, количества поврежденных коммуникаций и других осложнений, характерных для неквалифицированных и необученных подрядчиков [1].

По данным Международной ассоциации специалистов горизонтального направленного бурения комплексами ГНБ класса мини построено 47% от общей длины трубопроводов, установленных участниками исследования в 2013 году по технологии ГНБ, комплексами ГНБ класса миди – 46%, а макси – 7%.

При этом доля комплексов ГНБ разных типов в общем количестве эксплуатируемых установок составляет: комплексы класса мини - 63%; комплексы класса миди - 27%; комплексы класса макси - 10%.

То есть на лицо явный перекос в сторону выполнения работ установками с малой и средней силой прямой/обратной тяги, что влечет за собой увеличение количества аварий с застреванием бурового инструмента или протаскиваемого трубопровода. Экономические причины толкают участников рынка на приобретение маломощной техники. Эта тенденция, очевидно, продолжится.

Теми же самыми причинами вызваны случаи несоблюдения правильной рецептуры промывочной жидкости для производства работ. На рынке сейчас представлена широкая номенклатура буровых растворов, присадок и реагентов различных производителей в разных ценовых категориях. В условиях всё возрастающей конкуренции сокращение издержек касается и буровых расходных материалов.

Между тем неправильный выбор типа промывочной жидкости для различных типов грунтов чреват осложнениями, которые сильно зависят от типа грунта, в котором производятся работы. Для песчаных грунтов характерна частичная и полная потеря циркуляции бурового раствора, образование грифонов, обрушение стенок скважины. Для суглинков серьезную проблему представляет поглощение раствора, образование желобов [5] и сальников [6]. Для скального грунта - низкая механическая скорость бурения, плохой вынос шлама.

Бестраншейное строительство подземных коммуникаций осуществляется в настоящее время во всех типах грунтов, причем большинство организаций, в том числе наиболее низкоквалифицированных, работают в легких для строительства грунтах (см. рис. 1).

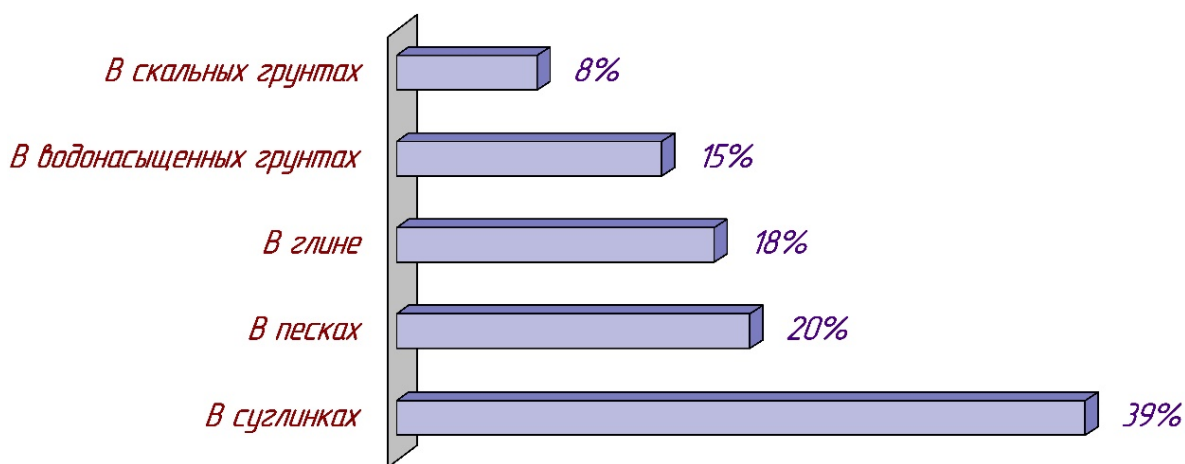


Рис. 1. Объем проложенных методом ГНБ трубопроводов в различных типах грунтов, в процентах от общего километража построенных методом ГНБ подземных коммуникаций

Легкие грунты – это область для конкуренции и демпинга. Крупные компании, которые потратили сотни тысяч долларов на приобретение техники, будут развивать строительство в недоступных для мелких участников рынка скальных грунтах и других сложных грунтовых условиях, как в перспективной для себя нише.

Усложнение условий строительства опять же скорее увеличит количество аварийных ситуаций при производстве работ.

Таким образом, в текущей ситуации имеется сразу несколько факторов, обуславливающих возникновение осложнений и аварий при прокладке трубопроводов методом ГНБ:

- неправильный выбор профиля пилотной скважины;
- применение установок с недостаточной силой прямой/обратной тяги для данного типа грунта;
- неправильный выбор типа промывочной жидкости;
- применение глинопорошков ненадлежащего качества;
- неправильное применение реагентов;
- низкая квалификация технического персонала.

Отсюда проистекают ошибки проектирования и строительно-монтажных работ, вызывающие осложнения и аварии, существенную долю которых можно предотвратить на этапе проектирования и подготовительных работ.

Прежде всего, одним из наиболее эффективных и экономичных способов предупреждения и ликвидации осложнений, при бурении горизонтально-направленных скважин, является рациональный выбор промывочной жидкости с заданными фильтрационными, реологическими и флокуляционными свойствами.



Во избежание аварийных ситуаций необходимо применять глинопорошки, по своим свойствам, соответствующим стандартам, а также правильно применять широко представленные на рынке реагенты.

Правильный выбор профиля пилотной скважины позволяет избежать возможных осложнений при строительстве перехода еще на этапе проектирования и дает возможность привязать расчетные данные к техническим возможностям буровой установки [3, 4].

В силу естественных законов развития техники все аварии и осложнения невозможно предупредить на этапе проектирования, и существует необходимость в способах ликвидации аварийных ситуаций при бестраншейном строительстве.

На этапе бурения и расширения скважины ликвидация аварийных ситуаций состоит в основном в простых манипуляциях с буровой установкой с целью либо продолжить бурение в этом месте либо переместить оборудование на другое, более подходящее, и попробовать сформировать новый ствол скважины.

Аварийные остановки при протаскивании трубопровода в уже пробуренную скважину представляют более серьезную опасность, так как возрастает риск потери бурового инструмента и труб, а также добавляется риск потери самого рабочего трубопровода.

Для уменьшения рисков возникновения аварий в некоторых случаях применяется вспомогательное оборудование для протаскивания, например, пневмоударные установки [2]. Однако универсального решения для ликвидации аварийных ситуаций при сооружении бестраншейных переходов методом ГНБ в данное время не существует.

Здесь необходима технология ликвидации такого вида аварий, включающая комплекс последовательных действий, в зависимости от ситуации, сложности условий работы и возможностей используемого оборудования.

Прежде всего, в случае аварийной остановки процесса протаскивания, необходимо отыскать проблемное место, которое явилось причиной аварийной остановки, определить возможные усилия, необходимые для извлечения трубопровода и бурового инструмента в ту или иную сторону.

Принципиальная возможность вытолкнуть трубу буровой установкой от себя силой обратной тяги может базироваться на специально разработанных инструкциях или технологических картах для выполнения такого вида работ. В основу написания таких инструкций должен быть положен расчет устойчивости буровых штанг различных типов при толкании их в скважине различных диаметров с применением широкого перечня буровых установок.

Для больших диаметров стальных трубопроводов необходимо также учитывать ограничения по нагрузкам на опоры спусковой дорожки трубопровода при его выталкивании из скважины в обратную сторону. В основу этих ограничений должен быть также положен соответствующий расчет. При невозможности продолжения процесса протаскивания, отсутствия возможности для извлечения трубопровода из скважины выталкиванием, невозможности извлечь трубопровод с помощью разработки грунта открытым способом, принимается решения о спасении только бурового инструмента и колонны буровых труб.

В этом случае решением может служить заведение внутрь трубопровода специального оборудования для монтажа шнуровых кумулятивных зарядов с целью отсечения взрывом трубопровода от буровой колонны и вытягивание на себя установкой ГНБ колонны буровых труб. Такой комплекс мероприятий хоть и требует дополнительной проработки, но позволил бы ликвидировать те аварии, которые невозможно устранить традиционными методами.

## Список литературы

1. Брейдбурд А.И. Некоторые итоги производственной деятельности предприятий – членов МАС ГНБ в 2013 году. / Журнал «Технологии Мира», №3, Апрель 2014 г., с. 21 - 27.
2. Использование пневмоударной установки Hammerhead Mole в качестве вспомогательного оборудования в горизонтальном направленном бурении. / Информационный центр компании Ditch Witch, <http://www.ditchwitch.ru/articles/ispolzovanie-pnevמודarnoi-ustanovki-hammerhead-mole-v-kachestve-vspomogatelnogo-oborudovaniya-v-gorizontálnom-napravlennom-bureнии-39.htm#>, 06.12.2010 г.
3. Торопов Е.С., Кирьянов И.Е., Торопов В.С. Методы снижения энергозатрат в процессе протяжки трубопровода в скважину при использовании технологии наклонно-направленного бурения для сооружения промышленных объектов. / Международная конференция «Нефть и газ. АТР – 2014». Ресурсы, транспорт, технологии. Владивосток, 20 – 23 мая 2014 г.
4. Торопов В.С., Осыка А.В., Торопов Е.С. Протаскивание трубопровода в объемно искривленные скважины. / Тезисы докладов межрегиональной молодежной научной конференции «Севергеозкотех-2001» 21-23 марта 2001г. - Ухта: УГТУ, 2001. - с. 70-71.
5. Фатеев. В.С. Желобообразование в процессе бурения. / Журнал «Вестник» Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, № 11, Ноябрь 2006 г., с. 11 - 12.
6. Шилов А.Г., Гличев В.А. Предупреждение сальникообразования при бурении в глинистых отложениях // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2013 г. № 4, с. 60 - 62.

## **ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

*В.А. Иордан*

*Тюмень, НАО «Сибирский научно-аналитический центр»*

Системы электрообогрева технологических трубопроводов (СЭО), применяются в условиях влияния отрицательных температур на вязкость перекачиваемого нефтепродукта. Размещения трубопроводных линий в условиях крайнего севера, и территорий приравнённых к ним, формируют современные критерии для проектирования этих систем. Несмотря на мощный импульс, заданный в области энергосбережения, эти системы обладают низкими показателями энергоэффективности. Так из 100% затрачиваемой электроэнергии СЭО, лишь 40% приходится на сохранение в перекачиваемой жидкости постоянного уровня вязкости, требуемого современными технологиями для транспорта нефтепродуктов[1].

Несмотря на то, что СЭО прочно заняли свое место в российской промышленности, вопросы проектирования этих систем, в которых рассматривается возможность энергосбережения затрачиваемых мощностей, с пропорциональным уменьшением тепловых потерь, недостаточно рассмотрен. При проектировании в современных условиях, при разветвлённой топологии сетей, следует рассматривать СЭО, как систему, стремящуюся к повышению ресурсоэффективности. Исходя из этого, можно сформировать следующие основные критерии для сравнительного анализа, классической методики проектирования СЭО с представленной разработкой авторами патента [2].

Целью данной статьи является:

- Обоснование целесообразности ступенчатого электрообогрева трубопроводов в соответствии с распределением тепловых потерь в системе;
- Сравнительный анализ классической методики проектирования СЭО с предлагаемым способом авторами патента;
- Расчет показателей эффективности методик проектирования СЭО, с апробацией данных по месторождениям «Приобское», «Приразломное», «Правдинское»;
- Анализ результатов по сформированным критериям.

Рассмотрим СЭО, в которой компенсация теплопотерь происходит ступенчатым образом, а управление зональным по алгоритмизированному каналу. При таком подходе к проектированию СЭО, компенсаци-

руются только часть тепловых потерь, необходимых для поддержания требуемой вязкости в продукте. При перекачивании жидкости по трубопроводу происходит потеря тепловой энергии через теплоизоляцию.

Начальным критерием для производства расчетов, предлагается определить длину участка трубопровода, на котором снижение температуры выходит за пределы минимально допустимой нормативной вязкости в нефтепродукте. Далее определяются тепловые потери оставшегося участка трубопровода, для необходимой мощности нагревательной секции, и рационального выбора схем расстановки представленных на Рис.1., относительно различных характеристик трубопроводных линий. Формируется первичная модель размещения оборудования участвующего в СЭО, с учетом данных сети и топологии трубопроводов. Получив требуемые температурные характеристики нефтепродуктов Рис.2, с их массовым расходом, и рассматривая их как самостоятельный теплоноситель, можно выразить критическую длину не обогреваемого участка трубопровода. Размещение нагревательной секции предусматривается до достижения критической длины не обогреваемого участка, а ее характеристик должно быть достаточно, чтобы на участке трубопровода нефтепродукт успел набрать температуру близкую к начальной.

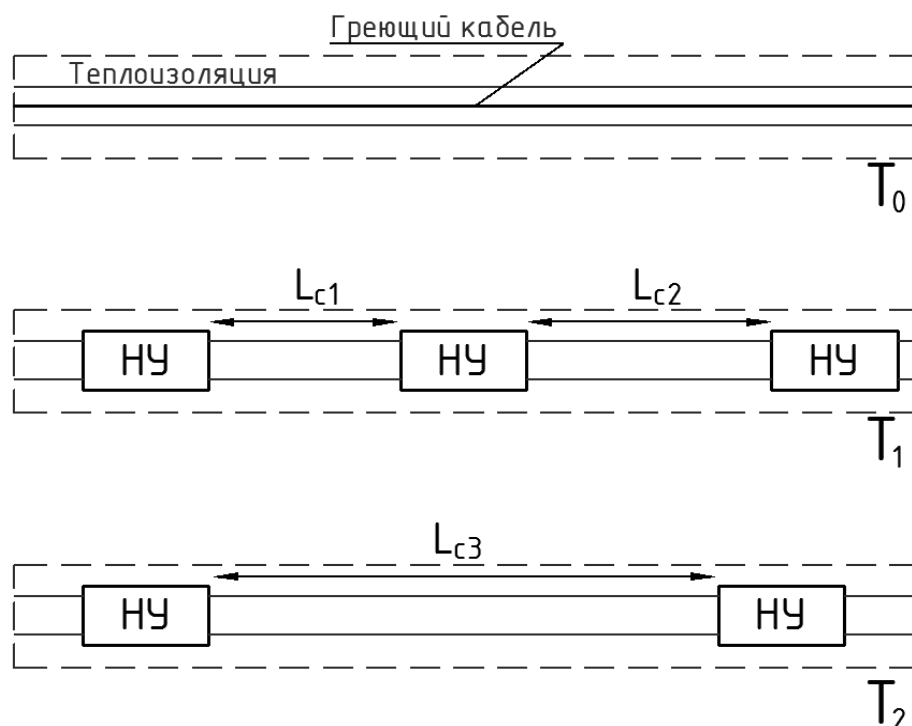


Рис. 1. Схема размещения нагревательных устройств (НУ) на технологических трубопроводах.

$T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , – технологические трубопроводы с нефтепродуктом;  
 $L_{c1}$ ,  $L_{c2}$ ,  $L_{c3}$ , – расстояние размещения секции НУ.

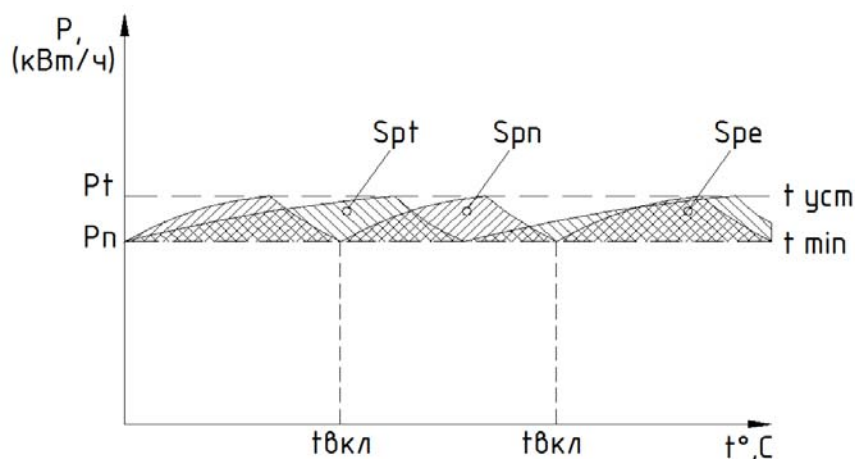


Рис. 2. Температурный график сравнения методов управления СЭО  
 $t_{\text{вкл}}$ ,  $t_{\text{уст}}$ ,  $t_{\text{min}}$ , – значение температуры включения, уставки, минимального значения;  
 $P_t$ ,  $P_n$ , – значение активной мощности, технологической, номинальной;  
 $S_{pt}$ ,  $S_{pn}$ ,  $S_{pe}$ , – площадь потребляемой электрической мощности, технологической, номинальной; результирующей.

Таким образом, при выполнении вышеперечисленных условий температура в трубопроводе поддерживается на минимально допустимом уровне нормативной вязкости перекачиваемого нефтепродукта.

Задаваясь различными значениями температуры нефтепродуктов с ее массовым расходом относительно характеристик трубопроводов, в итоге получим систему уравнений градиентного распространения в них теплопотерь. Для точного управления таким динамическим процессом, равно как и применение этой системы для большего числа трубопроводов в промышленности, необходима адаптируемая система управления с гибким алгоритмом и регулятором Рис.3

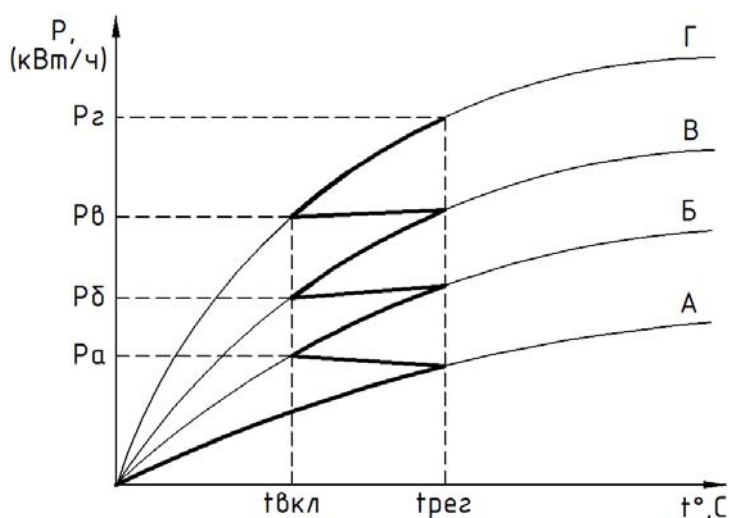


Рис. 3. График гибкости системы управления с зонами регулирования

Процесс проектирования регулятора в системе управления, может проходить несколькими способами. Это могут быть эмпирические методы, основанные на измерениях, выполненных на реальном объекте. В таком случае объект должен иметь достаточно простую модель, в виде апериодического звена с запаздыванием, допускающего его аппроксимацию. Кроме эмпирических способов проектирования регуляторов, их характеристики могут быть найдены на основе аналитических или графо – аналитических методов. Следующий шаг – это вывод инженерных расчетов базисным способом, основанным предлагаемой методикой проектирования.

С позиции экономической целесообразности метод ступенчатого электрообогрева превосходит классическую методику по следующим критериям:

- энергоэффективности;
- ресурсоэффективности.

Для более рационального сравнения были подобраны существующие СЭО, установленные на Приобском, Приразломном и Правдинском месторождениях. Результаты расчета показателей энергоэффективности сведены в Таблицу 1.

Таблица 1

Расчетные данные показателей энергоэффективности

| Наименование | Мощность СЭО, МВт | Потребляемая мощность, МВт/ч | Доля экономии, % | Экономия, млн.руб. |
|--------------|-------------------|------------------------------|------------------|--------------------|
| Приобское    | 8,06              | 70605                        | 12,3             | 1146               |
| Приразломное | 6,3               | 55188                        | 17,2             | 1253               |
| Правдинское  | 5,87              | 51421                        | 11,6             | 834                |

Результаты расчета показателей ресурсоэффективности сведены в Таблицу 2.

Таблица 2

Расчетные данные показателей ресурсоэффективности

| Наименование | Затраты на монтаж СЭО, млн.руб. | Затраты на оборудование СЭО, млн.руб. | Доля экономии, % | Экономия, млн.руб. |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------|
| Приобское    | 180,55                          | 106,18                                | 6,3              | 6,68               |
| Приразломное | 210,36                          | 152,5                                 | 10,2             | 15,55              |
| Правдинское  | 126,74                          | 71,87                                 | 8,4              | 6,03               |

Информационные данные для расчетов предоставлены ОАО «РН-Юганскнефтегаз».

Анализируя результаты можно говорить о значительной экономии предлагаемой системы проектирования СЭО в последующем ее применении. Это достигается за счет более эффективного использования электроэнергии, методов регулирования температуры нагревательных устройств и уменьшение количества применяемых материалов на 1км. длины трубопровода.

Применение такой системы в проектировании, позволит высвободить ранее затрачиваемые мощности и увеличить ресурсоэффективность СЭО, приблизив эти системы к более высокому классу эффективности.

#### **Список литературы**

1. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли: справочная книга М.Л.Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин.–М.: Инфра-Инженерия, 2015. – 272 с
2. Патент РФ № 154343 U1. Копырин В.А., Костоломов Е.В., Копырин С.А., Устройство для электрического подогрева технологических объектов вихревыми токами., 20.08.2015г.

УДК 622.692.23-034.14

### **МНОГОСЛОЙНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ДНИЩА ДЛЯ РЕЗЕРВУАРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

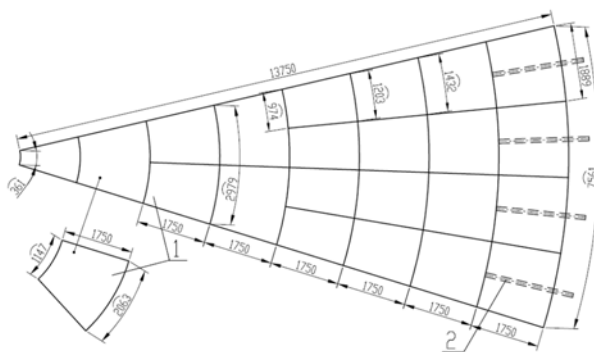
*М.Р. Терегулов, С.Д. Фан*

*Самара, Самарский государственный технический университет*

В процессе эксплуатации вертикальные стальные резервуары испытывают воздействие многих эксплуатационных факторов. Основным среди них является циклическое нагружение, возникающее из-за частого чередования технологических операций (наполнение-опорожнение-отстой). В результате, в большинстве резервуаров со сроком эксплуатации 20 и более лет из-за неравномерной просадки песчаной подушки возникает дефект, который обозначается в отчётах технической диагностики резервуаров, как «*непроектный уклон днища*», приводящий к следующим негативным явлениям:

- деформации настила центральной части днища (хлопуны, ямы, участки застойных зон подтоварной воды и парафинистых отложений);
- возникновение концентраторов напряжений;
- развитие усталостных трещин в конструкциях, следовательно, возникновение утечки продукта;
- увеличение скорости коррозии;
- снижение эффективности применения средств размыва донных отложений;

Предлагается выполнить конструкцию днища резервуара в виде трех-слойного полотна, разделенного ребрами жесткости на секторные панели, не сообщающиеся между собой (рис. 1).



1 – верхние секторные настилы многослойного днища,  
2 – трубы системы обнаружения утечек

Нижнее полотнище собирается из рулонных заготовок, верхнее - полистовым монтажом по верхним полкам ребер жесткости с последующей проваркой кромок встык сплошным швом. Крепление ребер жесткости к нижнему днищу - сварное. Для возможности просачивания жидкости к периферии в поперечных рёбрах жёсткости предусматриваются отверстия (рис. 2).

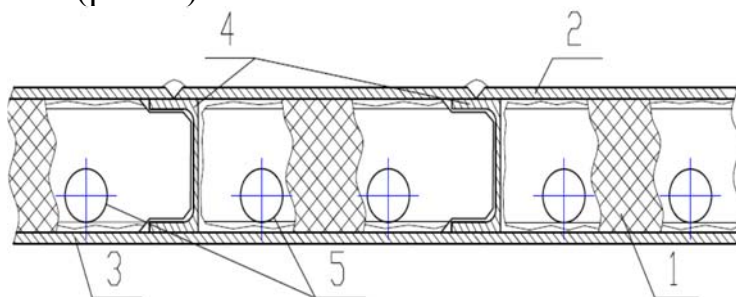


Рис. 2. Поперечный разрез днища типа «сэндвич»



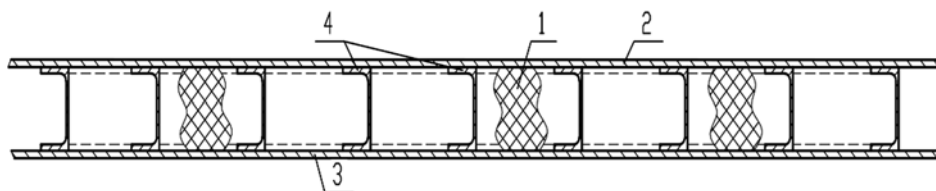


Рис. 3. Продольный разрез секторной панели

1 – заполнитель из пенокстекла, 2 – верхний слой дна, 3 – нижний слой дна, 4 – ребра жесткости, 5 – отверстия для просачивания жидкости.

После прохождения жидкости к боковым краям периферии, в места опирания окрайки на кольцевой железобетонный фундамент, она попадает в трубы системы обнаружения утечек, проникающих в тело железобетонного кольца посредством закладных конструкций (рис. 4). Чтобы исключить образование конденсата на стенках и днище секторной панели, предлагается выполнить герметизацию данных труб с установкой датчиков протечек. Так же возможно снабжение выведенных в каре резервуара труб, патрубками для замера состояния газо-воздушной среды, свидетельствующее о наличии разгерметизации сектора.

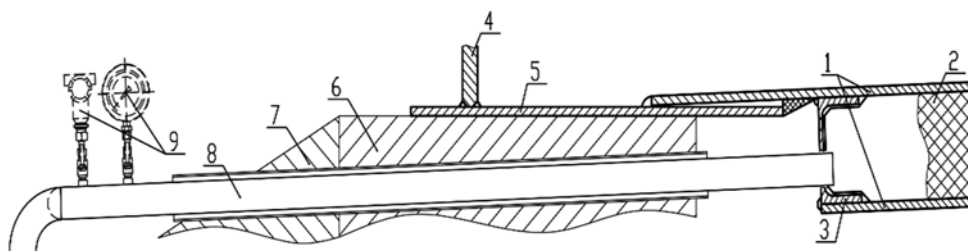


Рис. 4. Продольный разрез места сопряжения дна с фундаментным кольцом

1 – верхний и нижний слой дна, 2 – заполнитель из пенокстекла, 3 – ребро жесткости, 4 – стенка резервуара, 5 – окрайка дна резервуара, 6 – кольцевой фундамент, 7 – отмостка резервуара, 8 – труба системы обнаружения утечек, 9 – вариант исполнения с установкой приборов для регистрации изменения давления.

Задача определения несущей способности секторной панели решалась по методике [1] и при помощи МКЭ в среде программного комплекса ANSYS в нелинейной постановке.

Расчётная схема действия распределенной нагрузки на панель представлена на рисунке 5.

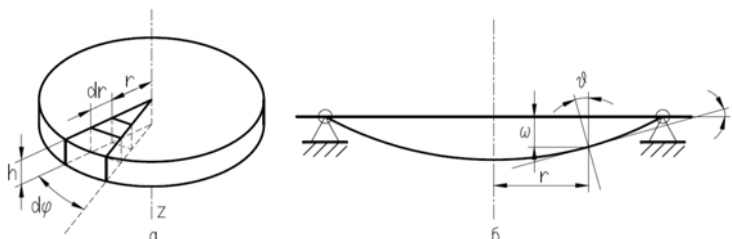


Рис. 5. Расчётная схема приложения нагрузки  
а – начальная схема; б – деформированная схема

Результатом расчёта является прямо-пропорциональная зависимость между прогибом многослойной панели и её продольным размером  $\omega_{a/2, b/2}$ .

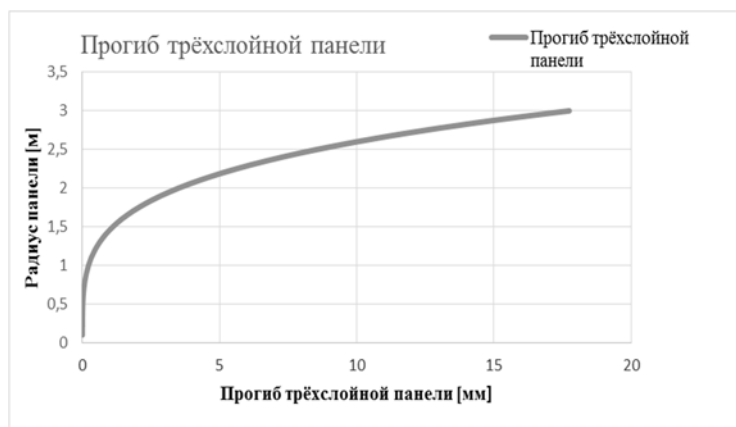


Рис. 6. – Зависимость прогиба панели  $\omega_{a/2, b/2}$  [см] от её размеров b, [м]

Приведённое ниже сравнительное численное исследование НДС аналогичного сектора панели, которое даёт удовлетворительное совпадение с графиком на (рис. 6).

Для оценки надёжности сравнивали НДС (напряжённо-деформированное состояние) трёхслойной и однослойной конструкции днища. В расчёте была реализована плоская контактная задача с использованием конечных элементов - для построения тела модели и образования контактных пар (пеностекло-металл-грунт).

Конечно-элементная модель сектора днища представлена на рис. 7:

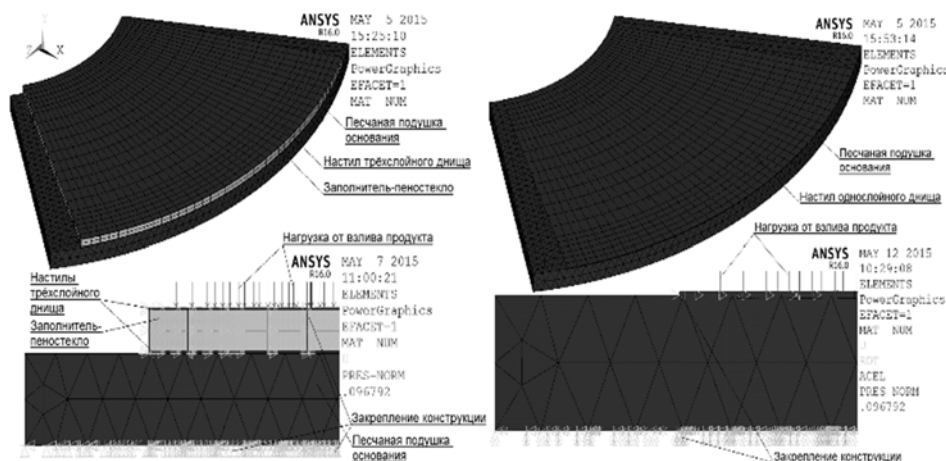


Рис. 7 Конечно-элементная модель сектора многослойной и однослойной панели

В модели была рассмотрена местная просадка под сектором многослойного и типового днища, в виде сферообразного заглабления диаметром 1,5 метра и глубиной – 0,1 м (рис.8).

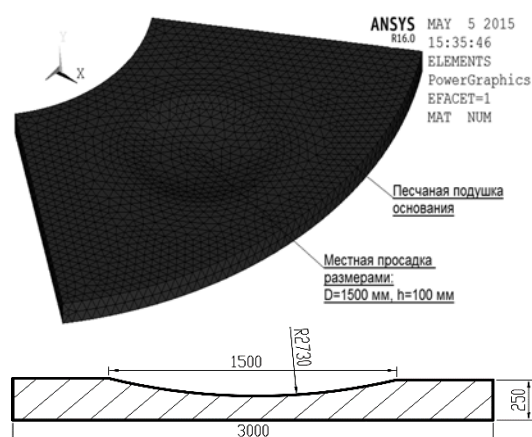


Рис. 8 Модель местной просадки песчаной подушки

При воздействии равномерно распределённой нагрузки на модель сектора многослойной панели с местной просадкой наблюдается прогиб конструкции на 1,262 мм. Максимальное эквивалентное напряжение в двух точках нижнего полотнища сектора – 16,5 МПа (рис. 9).

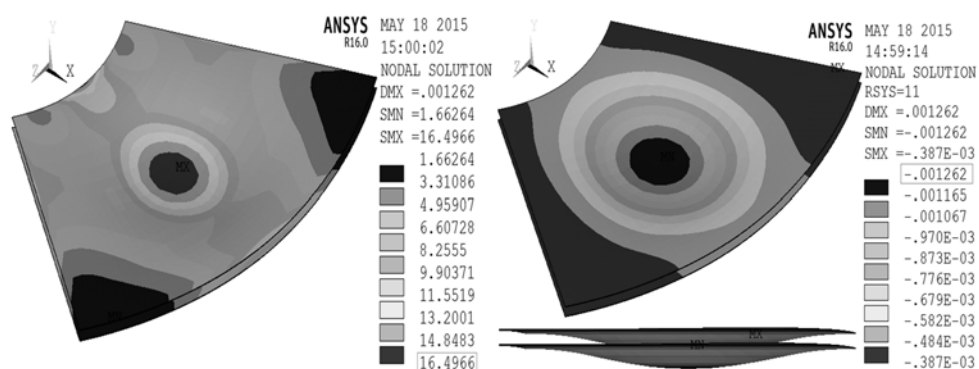


Рис. 9 Распределение эквивалентных напряжений и линейных перемещений листового проката многослойного днища по оси Y.

Максимальные эквивалентные напряжения в пеностекле составляют 0,48 МПа (рис. 10)

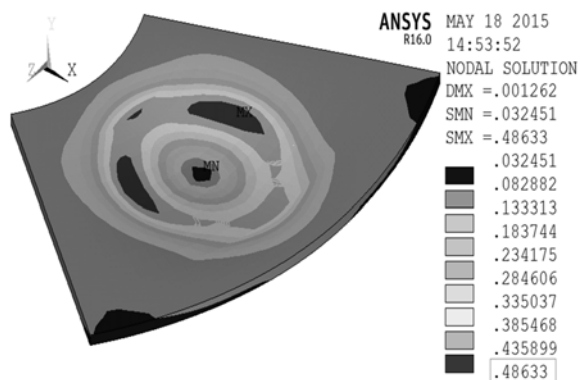


Рис. 10 Распределение эквивалентных напряжений в материале-заполнителе (пеностекле)

Аналогично рассмотрим НДС однослойного днища в виде листа металла толщиной 6 мм.

Результаты расчёта НДС однослойного днища с аналогичной просадкой представлены на рис. (11).

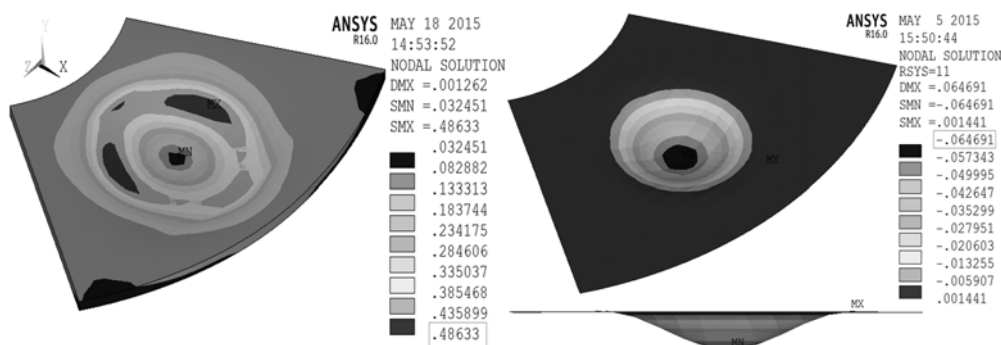


Рис. 11 Распределение эквивалентных напряжений и линейных перемещений листового проката однослойного днища по оси Y.

Таким образом, при воздействии равномерно распределённой нагрузки на однослойное днище с просадкой, максимальное эквивалентное напряжение в металле составит 239,8 МПа и приблизится к началу необратимых пластических деформаций, возникающих за пределом упругости. Следовательно, поверхность полностью прогибается, опирается на песчаную подушку, а значит, происходит образование хлопуна (вмятины) на поверхности днища.

### Выводы

1. Жесткий наполнитель (пеностекло) работает одновременно с внешними слоями, увеличивая несущую способность всей конструкции, по сравнению с типовым однослойным днищем. Следовательно, наблюдается более равномерное распределение нагрузки, как на саму конструкцию, так и на опорный фундамент, благодаря чему достигается сохранение проектного уклона днища, за счёт снижения вероятности возникновения деформаций центральной части днища, уменьшение количества или исключение застойных зон.

2. Предложено оснащение конструкции способом обнаружения и локализации утечек, которая обеспечит сокращение времени диагностики положения течи в конструкции и обеспечит возможность проведения ремонтно-восстановительных работ локального характера.

### Список литературы

1. Саргсян А.Е. «Строительная механика. Механика инженерных конструкций и сооружений: Учебник для вузов»
2. К. Штамм, Х. Витте. Многослойные конструкции. – М.: Стройиздат, 1983. – 300 с.
3. А/С SU 1761925 Резервуар для хранения жидкости. Обладатель: Институт электросварки им. Патона, 15.09.92.

## МОДЕЛЬ РАБОТЫ НЕФТЯНОГО ТЕРМИНАЛА

*В.С. Тимченко*

*Санкт-Петербург, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко  
РАН*

Статья посвящена демонстрации возможностей метода имитационного моделирования при рассмотрении процесса функционирования нефтяного терминала, на котором происходит перевалка нефтепродуктов с железнодорожного транспорта на морской.

Рассматривается структура имитационной модели, позволяющая оценить возможность освоения рассматриваемого грузопотока при заданных параметрах функционирования нефтяного терминала и соотношения категорий транспортных средств.

Описанная модель позволяет проводить эксперименты и решать задачи различного уровня: оперативные, при интеграции с информационной системой нефтяного терминала (принятие на хранение дополнительного объема грузопотока), тактические (закупка дополнительного количества средств механизации) и стратегические (увеличение полезного объема нефтяного терминала).

Имитационная модель позволяет рассмотреть работу нефтяного терминала, при различных процентных соотношениях категорий транспортных средств. При наличии законов распределения интенсивности поступления транспортных средств, имитационная модель позволяет не только оценить максимальную перерабатывающую способность, но и достаточность инфраструктурных и технологических мероприятий по ее увеличению, в случае необходимости модернизации нефтяного терминала.

**Введение.** Транспортный комплекс РФ работает в условиях ежегодного роста объемов грузовых перевозок и дефицита пропускных и провозных способностей [1,2], что вызывает необходимость больших объемов инвестиций в поэтапное развитие инфраструктуры.

Исследования показывают, что 85-95% общей продолжительности логистической цепи производственного цикла товародвижения составляет ожидание обработки, транспортировки и других операций, включая нахождение в пунктах перевалки, поэтому столь важна надежная оценка соответствия перерабатывающей способности.

В Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г. ставится задача интенсивного развития транспортной инфраструктуры. Одним из направлений ее научного обеспечения является создание имитационных систем, позволяющих моделировать системы различных видов транспорта.

Имитационная модель позволяет автоматически определять значения параметров рассматриваемой системы, меняя при этом условия протекания процесса и случайные события, учет которых при традиционных подходах вызывает существенные затруднения. Это позволяет оперативно учитывать все изменения в проекте, а также получить более точные значения оптимальных параметров функционирования системы, чем при традиционно применяемом расчете [3].

Целью исследования является демонстрация возможностей метода имитационного моделирования при комплексном рассмотрении процесса функционирования объектов транспортной инфраструктуры.

Имитационная модель была построена в среде AnyLogic, которая является на сегодняшний момент универсальным средством имитационного моделирования, в рамках которой реализованы: дискретно-событийный, агентный и системнодинамический подходы. В рамках данного исследования был использован дискретно-событийный подход [4], который позволил рассмотреть процесс перевалки нефтепродуктов с железнодорожного транспорта на морской, с помощью имитационной модели, структура которой представлена на рис. 1.

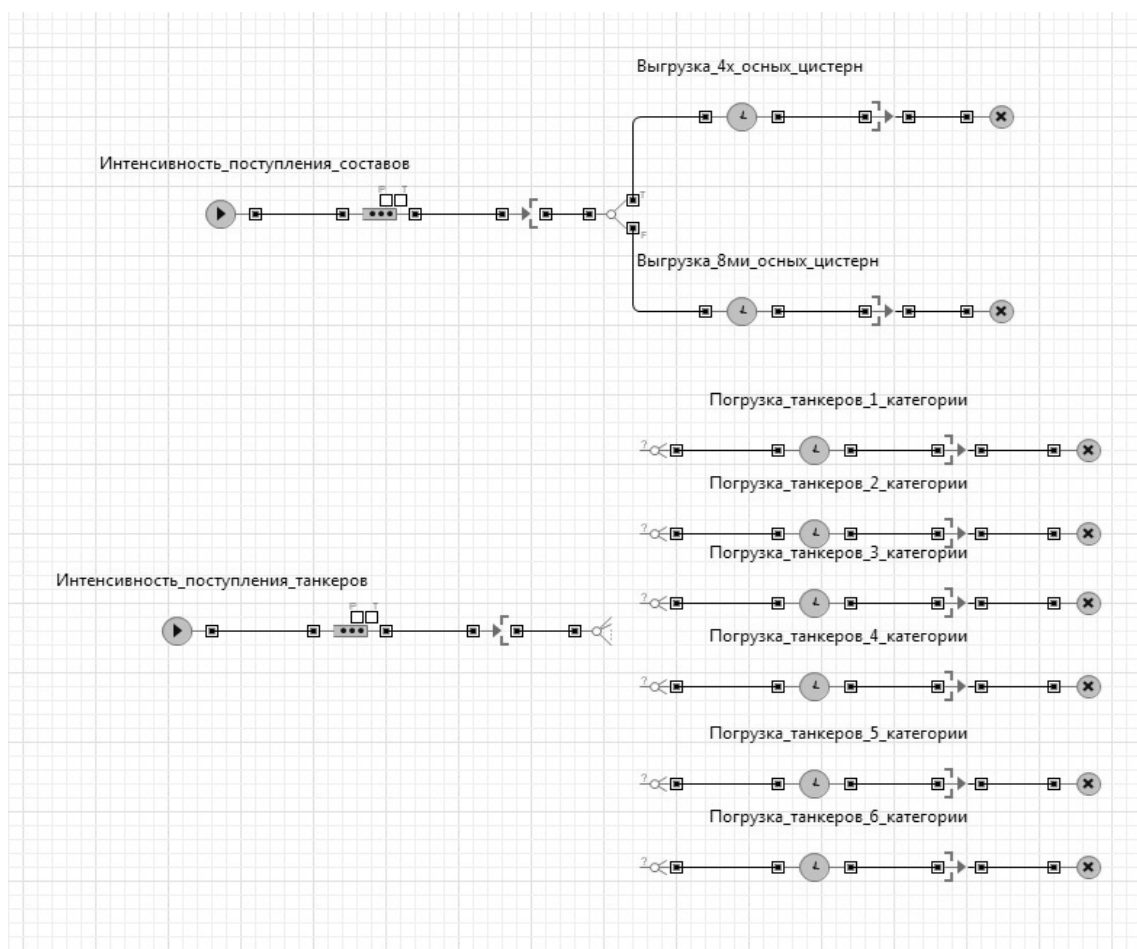


Рис. 1. Структура имитационной модели нефтяного терминала

Структура модели представляет собой два параллельных процесса:

1. Выгрузка нефти из цистерн;
2. Погрузка нефти на танкеры.

Первыми в обоих процессах идут блоки, отвечающие за интенсивность поступления заявок в модель. Его параметры заданы таким образом, чтобы исключить межоперационные простои, т.к. мы рассчитываем максимальную перерабатывающую способность склада. Если бы мы рассматривали задачу оптимизации работы имеющегося нефтяного терминала, то в этих блоках использовался бы закон распределения интенсивности поступления транспортных средств.

Далее идут блоки, имитирующий очереди поступления транспортных средств, после которых расположены блоки ограничивающие количество одновременно выгружаемых транспортных средств.

Затем идет сеть развилок, которые позволяют «размножить» ту часть модели, которая отвечает за процесс выгрузки [5], позволяющие учесть разные вместимости составов из 4-х и 8-ми осных цистерн и дедвейт танкеров. Завершают модель блоки отвечающие за подсчет количества обслуженных транспортных средств разных категорий и удаление заявок из модели.

Если в процессе моделирования при заданных параметрах системы объем нефтяного терминала будет полностью заполнен, то моделирование завершается и делается вывод о невозможности освоения заданного грузопотока при заданных параметрах нефтяного терминала. Оператору имитационной модели при следующем эксперименте следует сделать одно из двух возможных действий:

1. Увеличить максимальный объем нефтяного терминала;
2. Сократить объем грузопотока.

По мнению авторов наилучшим вариантом будет задание изначально завышенной емкости нефтяного терминала, и вывести на временной график динамику его фактического заполнения, пиковое значение которого и будет характеризовать максимальное использование перерабатывающей способности склада.

Модель позволяет рассмотреть работу нефтяного терминала, при разных процентных соотношениях рассматриваемых категорий транспортных средств, а также увеличить их количество, при несложной ее модификации. При наличии законов распределения интенсивности поступления транспортных средств, имитационная модель позволяет не только оценить максимальную перерабатывающую способность, но и достаточность инфраструктурных и технологических мероприятий по ее увеличению, в случае необходимости увеличения перерабатывающей способности нефтяного терминала.

С помощью имитационной модели можно рассчитать следующие основные показатели эффективности работы нефтяного терминала:

- Коэффициент загрузки каналов;
- Средняя длина очереди;

- Среднее время ожидания обслуживания;
- Вероятность ожидания обслуживания.

### **Заключение:**

В статье представлена имитационной модели работы нефтяного терминала ада, которая позволяет оценить достаточность его перерабатывающей способности в условиях обслуживания нескольких категорий транспортных средств, предназначенная для визуализации, анализа и поиска устойчивых параметров функционирования системы.

### **Список литературы**

1. Белый О.В. Инновационные проблемы развития транспорта // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2010. - №4. – С. 97-100.
2. Кокурин И.М., Тимченко В.С. Методы определения «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – Выпуск 1 (34). – С. 15 – 22.
3. Долматов М. А., Нисенбаум Р. С., Плотников А. М., Федотов Д. О. Имитационное моделирование как инструмент оценки инженерных решений при разработке проектов развития судостроительных и судоремонтных предприятий России// Национальное общество имитационного моделирования. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/ikm-mtmts-64-69.pdf> (дата обращения 24.01.2015 г.).
4. Борщев А.В. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем // Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Том 1. // ISBN 978-5-9690-0221-0 // Издательство «ФЭН» Академии наук РТ, Казань, 2013, с. 21-34.
5. Тимченко В.С. Оценка перерабатывающей способности грузового фронта методом имитационного моделирования // Молодой ученый. — 2015. — №5. — С. 189-192.

УДК 622.691

## **МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДАННЫХ**

*Е.С. Торопов, С.Ю. Подорожников, В.С. Торопов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

На сегодняшнее время длина эксплуатируемых магистральных газо- и нефтепродуктопроводов неуклонно растет, при этом большая их часть требует более детального подхода к техническому состоянию и эксплуатационным режимам работы в связи с их продолжительными сроками эксплуатации. Протяжённость магистральных трубопроводов (по данным Росстата) составляет 250 тыс. км, в том числе газопроводов 175 тыс. км, нефтепроводов 55 тыс км и нефтепродуктопроводов 20 тыс. км. В связи с тем, что данные объекты имеют стратегическое значение, требуется рассмотрение всего спектра



методик оценки технического состояния, а также прогноза вывода в ремонт отдельных его участков, в частности при их коррозионном поражении.

Коррозия металлических сооружений приводит к преждевременному износу агрегатов, установок, линейной части магистральных трубопроводов, сокращению межремонтных сроков оборудования. Кроме того, коррозия металла может оказаться причиной аварии на магистральном трубопроводе вследствие сквозной перфорации (свищей) стенок трубопроводов.

При проектировании и строительстве электрохимической защиты металлических сооружений от коррозии приходится решать комплекс задач, включающий определение коррозионной активности грунта и возможной скорости коррозии, оптимальной степени защиты, выбор средств защиты и в зависимости от них.

Рассматриваемая методика мониторинга основывается на анализе коррозионной обстановки, работоспособности системы электрохимической защиты, а также сведениям о прогонах диагностических поршней за последние годы.

Коррозионные измерения на подземных металлических трубопроводах выполняются для определения опасности коррозии, эффективности действия электрохимзащиты и состояния изоляционного покрытия. Они осуществляются при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов транспорта и хранения углеводородного сырья.

Удельное сопротивление грунта определяется для выявления участков трассы прокладки трубопровода с высокой коррозионной активностью грунта, требующейся от коррозии, а также для расчета катодной и протекторной защиты.

При проведении анализа коррозионной ситуации вдоль трассы трубопровода, не зависимо от режимов работы установок электрохимической защиты, распределение удельного сопротивления грунтов по всей протяженности остается неизменным на протяжении всего срока эксплуатации. Отклонения рассматриваемых результатов связаны с сезонными изменениями погодных условий и как следствие повышение, либо понижение влажности электролита (грунта), что меняет проводимость солей металлов содержащихся в грунтах. В общем получается, что система имеет некоторые границы изменения основных режимов работы, которые колеблются в заданных пределах в зависимости от погодных условий в течении всего периода эксплуатации. Зная коридор вариаций рабочих параметров систем электрохимзащиты, методика выявляет участки высокой коррозионной опасности и проводит оценку возможной локализации дефектов стенки трубопровода.

Так же одним из основополагающих критериев оценки технического состояния служит анализ прогонов диагностических поршней. Отчеты внутритрубных снарядов выявляют четкую картину потери металла внешней и внутренней образующей стенки трубопровода. Эти данные позволяют рассчитать скорость коррозии отдельных элементов системы и определить сроки дальнейшей безаварийной работы.

Анализ результатов внутритрубной диагностики позволяет выявить места трубопроводов, требующие капитального ремонта, кроме того, все дефекты собираются в «Банк» дефектов.

Эти данные используются для оценки фактического состояния линейной части трубопровода, сертификации дефектов, изучения влияния на развитие дефектов различных факторов, действующих на различных объектах, расчёта остаточного ресурса и прогнозирования развития дефектов с определённой степенью вероятности.

Однако результаты диагностирования дают «информационный срез», описывающий техническое состояние трубопровода на время исследования, кроме диагностики, очевидно, нужно решать и задачи прогнозирования технического состояния МН.

При подробном исследовании всех возможных критериев влияющих на безотказную работу элементов трубопровода, можно прогнозировать места локализации отдельных дефектов и участков трубопровода требующих полной замены.

В случае устранения дефектных зон, либо отдельных участков трубопроводов, методика накладывает уже существующую маску событий на отремонтированный участок. Данное действие связано с тем, что существующие (проектные) условия заложения трубопровода а также общая обстановка на трассе трубопровода не претерпевает изменений, а значит будет работать в рамках режимов до ремонтного периода.

Рассматриваемая методика представляет возможным расстановку по времени и месту, ремонтных бригад, осуществляющих локализацию дефектов, а также необходимое их количество. При этом выявляется четкая зависимость между трудовыми резервами и содержание трубопровода с заданным процентом потери металла стенки трубопровода. (рис.1.)

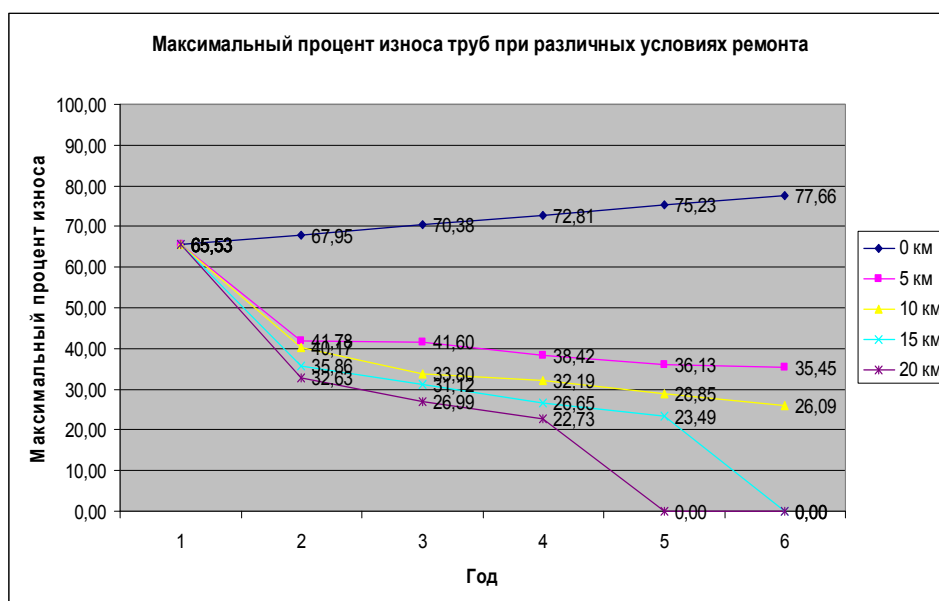


Рис 1. Данные остаточной толщины стенки, при общей длине ремонта трубопровода от 0 до 20 км в год.

Как видно из графика, данная система будет функционировать безотказно при общей длине отремонтированных участков не менее пяти километров в год. Данный анализ был проведен для участка трубопровода Ду 700 мм., при длине 695 км.

### **Список литературы**

1. Эксплуатация магистральных газопроводов: Учебное пособие. /Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. – ТюмГНГУ, 2002. – 525 с.
2. ГОСТ 9.602-2005 Общие требования к защите от коррозии.
3. РД-29.200.00-КТН-206-12, Обследование коррозионного состояния и состояния средств противокоррозионной защиты магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.
4. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии: Справ, изд. Пер. с нем. — М.: Металлургия, 1984. 496 с.
5. Аспекты технологической надежности и экономической эффективности эксплуатации подземных хранилищ природного газа Западной Сибири: монография/Шиповалов А.Н., Земенков Ю.Д., Торопов С.Ю., Подорожников С.Ю. и др. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2012 -344 с.
6. Торопов С.Ю., Земенков Ю.Д., Подорожников С.Ю. Повышение экологической надежности ремонта трубопроводов в сложных природно-климатических условиях //Газовая промышленность. – М.: ООО «Газойл пресс», 2015, № S720 (720), С. 95-98.

УДК 621.791

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

*В.П. Устинов, В.Ф. Новиков, О.В. Зумарева*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Металлы ввиду своего разнородного характера не всегда подходят для непосредственного контакта друг с другом тем более, если они находятся в агрессивных средах. Соединяемые стали нередко образуют весьма сильную гальваническую пару, что приводит к коррозионному разрушению[1].

По оценке Всемирной организации по борьбе с коррозией, общемировые потери, связанные с коррозией, составляют около 2,2 трлн долл. - это 3-4% ВВП в развитых странах. И доля России в этой сумме немалая. По стране в целом протяженность трубопроводов составляет более 1 млн. км.

Коррозия, при которой происходит возникновение электрического тока, в среде жидкого электролита, называется - электрохимическая коррозия. Все металлы и сплавы обладают электрическим потенциалом, из-за наличия в составе сплавов тех или иных веществ их потенциал не одно-

ден. Если взять два материала с разными потенциалами и соединить их между собой, то они образуют гальваническую пару. Поместив такую связку в электролит, между ними начинается активный электрообмен, что приводит к ускоренному разрушению более активного материала[2].

Целью данной работы является исследование возможности электрохимического метода контроля коррозионной стойкости сталей 20, 09Г2С.

ГОСТ разрешает сваривать различные малоуглеродистые стали. Мы считаем, что это нельзя делать без контроля, так как соединяемые металлы могут обладать отличающейся структурой и соответственно электрохимическими свойствами. Стойкость против коррозии зависит от химического состава стали, ее структуры, состояния поверхности, напряжений в ней, химического состава, температуры агрессивной среды, а также скорости перемещения этой среды по поверхности металла. В зависимости от рабочей среды для изготовления сварных изделий и сооружений используют соответствующие стали. Основной задачей сварщиков при этом является обеспечение равенства коррозионной стойкости различных участков соединения (шва, околошовной зоны и основного металла вдали от шва). Нередки случаи, когда в результате неправильно выбранной технологии сварки металл шва оказывается менее коррозионностойким, чем свариваемая сталь. Так, например, сварные швы, выполненные вручную на низколегированной хромокремненикелемедистой стали типа СХЛ (10ХСНД) низкоуглеродистыми электродами, сильно разрушаются в морской воде под действием коррозии. Коррозия этих швов вызвана более низким содержанием в них хрома и никеля по сравнению с основным металлом.

Описание предложенного метода контроля электрохимического потенциала  $U$ . Электрохимическая ячейка (Рис.1) состоит из пробирки, заполненной электролитом(в качестве электролита использовался 5% раствор йода), никелевого электрода(шириной 3 мм), вольтметра, образца исследуемой стали (Рис.2). С помощью данной установки мы определили разность потенциалов между капелькой электролита никеля на металле и самим металлом. Снимались зависимости напряжения  $\Delta U(t)$  в течение 1-5 минут, определялось установившееся значение потенциала.

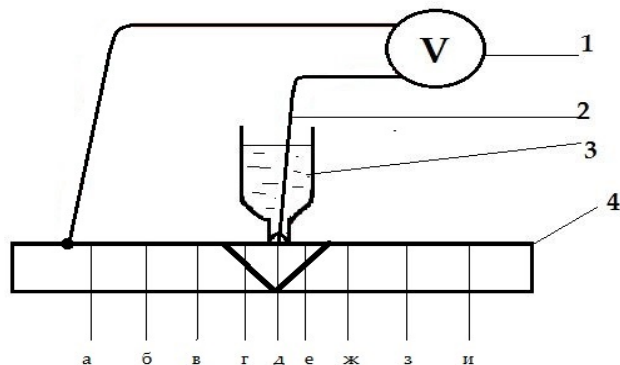


Рис. 1. 1.Вольтметр 2.Никелевый электрод 3.Пробирка,заполненная электролитом 4.Исследуемый металл а,б,в...-экспериментальные точки



Рис.2. Исследуемый образец стали 09Г2С. Вид сверху

В ходе работы были получены следующие зависимости распределения установившегося электрохимического потенциала вдоль исследуемых образцов (Рис. 3-5).

На рисунках 3 и 4 показано распределение  $\Delta U(t)$  для двух сваренных пластин стали 20, а на рисунке 5 стали 09Г2С. Значения точек сплошной кривой определены после выдержки 1 минута, а пунктирной кривой после выдержки 5 минут. Для образца №1 (рис.3): коэрцитивная сила левой пластины  $H_c=3,0$  А/см, правой пластины  $H_c=3,5$  А/см, сварного шва  $H_c=3,8$  А/см. Скачок потенциала составил 213 мВ.

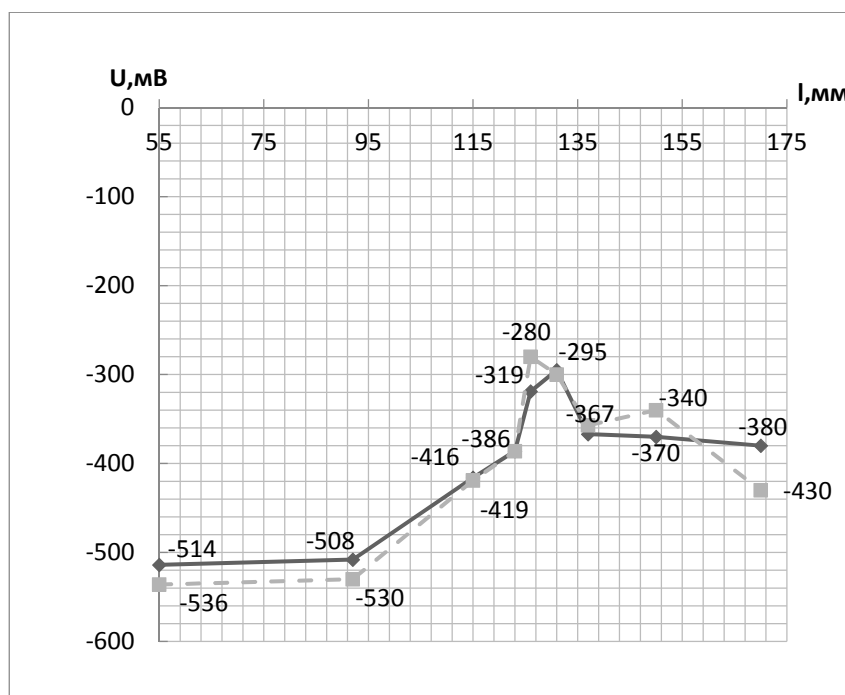


Рис. 3. Распределение электрохимического потенциала по оси образца №1, сталь 20

Для образца №2 (Рис.4): коэрцитивная сила левой пластины  $H_c=3,5$  А/см, правой пластины  $H_c=3,0$  А/см, сварного шва  $H_c=3,7$  А/см. Скачок потенциала составил 200 мВ.

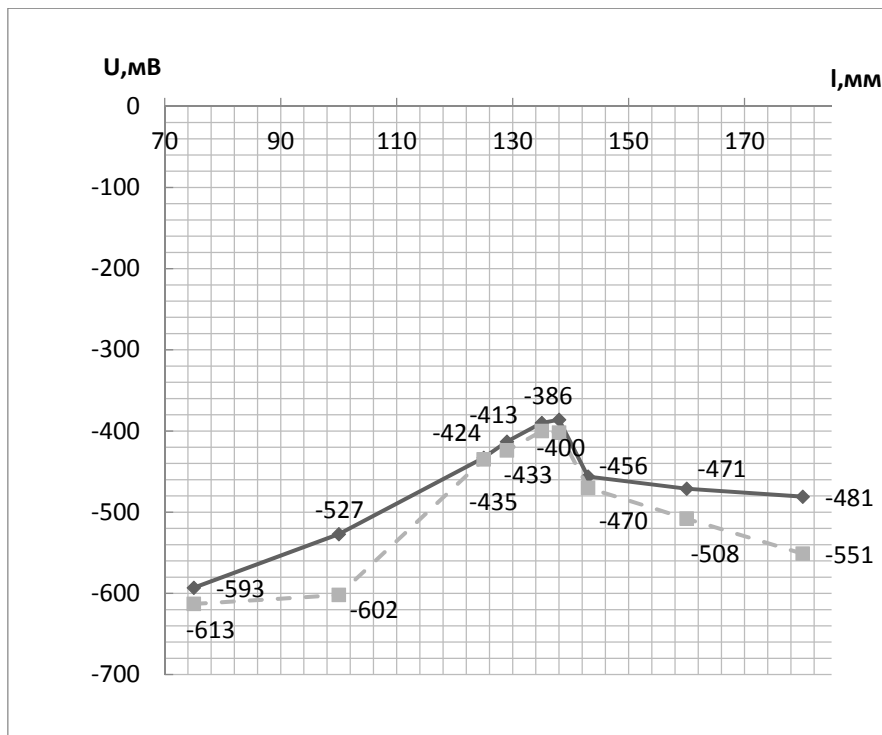


Рис. 4. Распределение электрохимического потенциала по оси образца №2, сталь 20

Для образца №3 (Рис.5): коэрцитивная сила левой пластины  $H_c=4,7$  А/см, правой пластины  $H_c=4,7$  А/см, сварного шва  $H_c=5,5$  А/см. Скачок потенциала составил 120 мВ.

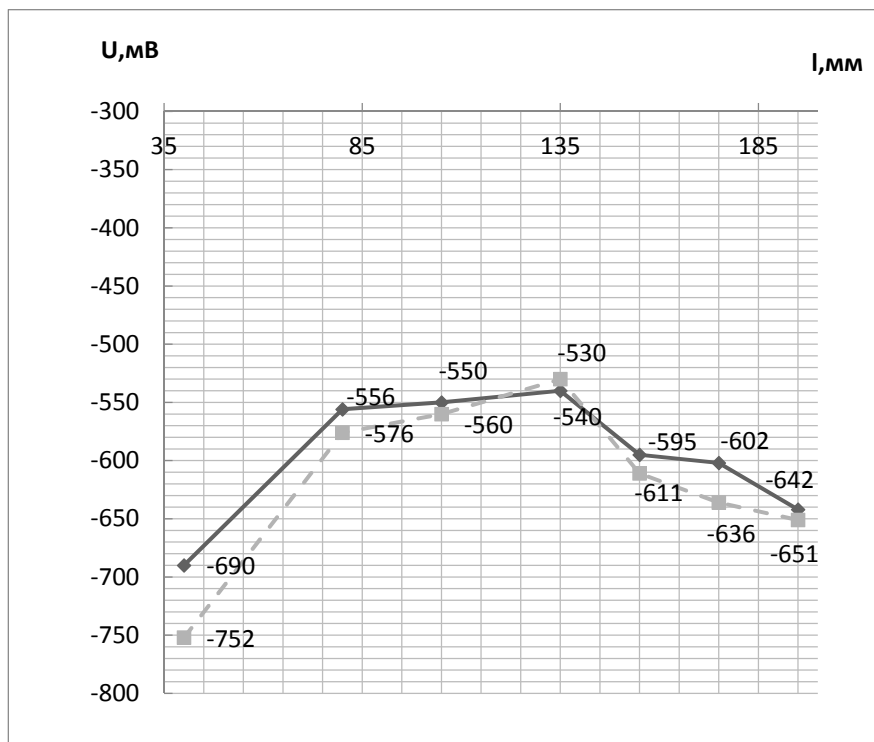


Рис.5. Распределение электрохимического потенциала по оси образца №3, сталь 09Г2С

С помощью данного метода измерения электрохимического потенциала свариваемых конструкций можно прогнозировать появление коррозии, возникающей из-за электрохимической неоднородности металла, например трубы или сварного шва.

Достоинства данного метода состоят в том, мы используем никель вместо хлорсеребряного электрода и в отличие от других электролитов, с 5-% спиртовым раствором йода возможно работать на морозе, до температуры  $-34^{\circ}\text{C}$ . Наблюдения за электрохимической неоднородностью (изменением потенциала) металла стали чрезвычайно важными при определении скорости электродных процессов, т.к. ГОСТ разрешает сваривать различные материалы, то исследованием гальванопар с помощью электрохимических методов можно контролировать коррозионную совместимость материалов и предотвратить аномальные случаи коррозии, тем самым большие затраты на демонтаж либо новые детали.

#### Список литературы

1. Малахов А.И., Жуков А.П., Основы металловедения и теория коррозии: Учебник для машиностроительных техникумов.- М.: Высш. школа, 1978.
2. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. — 3-е изд., перераб. и доп. —М.: Машиностроение, 1990. —528 с.
3. Новиков В.Ф., Рышков В.А., Муратов К.Р., О методе обнаружения коррозионных пар, ТюмГНГУ.

УДК 621.31

### **О ПРИЧИНАХ РОСТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*В.П. Фрайштетер, Р.А. Кудряшов  
Тюмень, ОАО «Гипротюменнефтегаз»*

На нефтяных и газовых месторождениях для защиты от замерзания в зимний период требуется поддерживать определенную температуру нефти и водопроводов, а также технологического оборудования (емкостей, запорной арматуры и т.д.). Ранее, когда добыча нефти в Сибири осуществлялась преимущественно на территории Среднего Приобья, повсеместно применялся так называемый «спутниковый» обогрев с помощью водяного пара, получаемого на котельных. Начиная с 90-х годов «спутниковую» (паровую) систему обогрева стали активно заменять системой электрического обогрева, которая оказалась более эффективным техническим решением по отношению к традиционному спутниковому паровому обогреву. Ак-

тивное и широкое распространение систем электрического обогрева стало следствием появления современных достаточно надежных греющих кабелей, в том числе саморегулирующихся, появления оборудования и аппаратуры систем управления электрообогревом.

В технической литературе до последнего времени освещение этого важного направления было явно недостаточным, но в 2015 году опубликована справочная книга [1], в которой последовательно изложены основные теоретические и практические аспекты электрообогрева в нефтегазовой отрасли.

Различают несколько видов трубопроводов, на которых применяется электрообогрев:

- открыто проложенные нефте- и водопроводы на территории кустов скважин (или их отдельные части, выходящие на поверхность).
- открыто проложенные нефте- и водопроводы на территории технологических площадок дожимных насосных станций (ДНС), установок предварительного сброса воды (УПСВ) и газа (УПСВГ), центральных пунктов сбора нефти (ЦПС), компрессорных станций (КС) и др.
- открыто (надземно) проложенные нефтепроводы системы сбора и транспорта нефти на территории месторождения.
- открыто (надземно) проложенные напорные нефтепроводы от ЦПС или DNS до пунктов сдачи-приема нефти (ПСП), высоконапорные водоводы от КНС до нагнетательных скважин на кустах и низконапорные водоводы от водозаборов и систем очистки воды до КНС.

Системы электрообогрева трубопроводов в условиях нефтяных промыслов Западной Сибири выполняются, как правило, с помощью трех типов нагревателей:

- 1) для трубопроводов значительной длины – индукционно-резистивный электрообогрев на основе скин-эффекта;
- 2) для трубопроводов средней длины – трехфазный и двухфазный кабель постоянной мощности;
- 3) для трубопроводов небольшой протяженности и узлов запорной арматуры – саморегулирующиеся нагревательные кабели.

В последние годы нагрузки и электропотребление систем электрообогрева существенно увеличиваются как в абсолютных значениях, так и относительно общих показателей нефтяных промыслов и месторождений. Ранее основную часть нагрузок и электропотребления составляли сами технологические процессы механизированной добычи нефти, поддержания пластового давления, сбора и транспорта нефти, подготовки нефти ипутного газа и пр. [2], доля электрообогрева по проектам восьмидесятых-девяностых годов прошлого века составляла не более 1-1,5% в общем электропотреблении и при прогнозировании уровней нагрузок и электропотребления учитывалась в составе «прочей нагрузки» небольшими (до 1,02) коэффициентами.



Начиная с 2000-х годов эта доля стала существенно возрастать. Основные причины этого заключаются, во-первых, в движении добычи нефти в еще более суровые северные и восточные условия (районы северного полярного круга и Заполярья, месторождения собственно полуострова Ямал, Гыданского полуострова, полярных районов Красноярского края, Республики Саха-Якутии и т.п.), где значение электрообогрева существенно возрастает по сравнению с районами Среднего Приобья и юга Тюменской области. Во-вторых, этому способствовала экономическая и техническая доступность электрообогрева, простота в обслуживании и замене оборудования, многочисленные предложения отечественных и зарубежных фирм, занимающихся проектированием, поставкой и изготовлением систем электрообогрева трубопроводов.

Таким образом, электрические нагрузки систем электрообогрева становятся весьма значимой частью суммарных электрических нагрузок нефтепромысловых объектов, и их обоснованный учет становится необходимым уже на начальной стадии предпроектной проработки вариантов электроснабжения месторождений. Суждение о независимости графиков нагрузок нефтяных промыслов от времени года, месяца, часов суток утратило свою силу именно из-за возросших нагрузок электрообогрева и не может в дальнейшем использоваться.

В районах Среднего Приобья все промысловые трубопроводы (нефтяные трубопроводы системе нефтесбора на территории месторождения, напорные нефтепроводы до ПСП и водоводы системы поддержания пластового давления) прокладываются в земле и их обогрев не требуется. Иная ситуация для районов Заполярья и Крайнего Севера, где распространена многолетняя мерзлота и подземная прокладка промысловых трубопроводов и трубопроводов внешнего транспорта невозможна. Все трубопроводы прокладываются надземно и греющий кабель укладывается на всем протяжении таких труб, питание этого кабеля осуществляется от КТП в районе узлов задвижек (УЗА) и камер систем очистки и диагностики (СОД). Сами по себе нагрузки узлов без учета электрообогрева трубопроводов невелики, однако, в холодный период года нагрузки системы электрообогрева значительны.

Электрические нагрузки системы электрообогрева линейной части определяются исключительно общей длиной труб и их диаметром. Необходимая температура трубопроводов большого диаметра (840 мм и выше) поддерживается путем увеличения числа параллельных ветвей греющего кабеля, следовательно, кратным увеличением мощности. Так, в проекте нефтяного месторождения, находящегося непосредственно на полуострове Ямал, нагрузки электрообогрева напорного нефтепровода до ПСП составляют более 1,5 МВт (применяются все три типа вышеупомянутых нагревателей). Доля нагрузки системы электро-

обогрева на узлах задвижек и СОД в холодный период составляет до 90%, а на отдельных КТП на водоводах системы ППД и все 100% (при общей мощности нагревательных устройств, подключенных к одной КТП, до уровня 500 кВт).

Это совершенно иной уровень нагрузок, чем наблюдался ранее, причины этого в повсеместном применении электрообогрева на всем протяжении трубопроводов, что жизненно необходимо, особенно в районах Крайнего Севера. Для питания систем электрообогрева с такими нагрузками уже требуются вдольтрассовые ВЛ класса напряжения 35...110 кВ и сооружение специальных подстанций по трассе трубопроводов.

При прогнозировании нагрузок электрообогрева очевидно основным параметром для оценки является длина трубопровода, рекомендуется принимать в среднем удельную нагрузку электрообогрева трубопроводов на уровне 30-240 кВт/км в зависимости от диаметра труб. При этом большие значения мощности рекомендуется применять для более высоких широт.

Представляется целесообразным рассмотреть применение для питания скин-систем частотных преобразователей. Во-первых, трехфазная схема с частотным преобразователем полностью решит проблемы симметрирования нагрузок по фазам трехфазной питающей сети. При этом симметрия обеспечивается независимо от подключенной нагрузки электрообогрева. Во-вторых, и это основное достоинство, целенаправленное регулирование частоты и напряжения позволит гибко управлять системой электрообогрева, управляя собственно скин-эффектом, т.е. эффектом вытеснения тока на поверхность проводника в зависимости от частоты тока. Частотно регулируемые электроприводы (ЧРП) в настоящее время активно и широко применяются на объектах добычи нефти и газа, их производство в массовых объемах освоено, накоплен достаточный опыт эксплуатации таких устройств. Поэтому применение частотных преобразователей в системах электрообогрева вполне приемлемо как с точки зрения стоимости, так и с точки зрения их эксплуатации.

### Список литературы

1. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли. – Москва - Вологда, «Инфра-Инженерия», 2015, 272 с.
2. Кудряшов Р.А., Фрайштетер В.П. Совершенствование расчетов электропотребления и электрических нагрузок в изменившихся условиях проектирования электрооборудования нефтяных и газовых месторождений// «Нефтяное хозяйство», вып. 2, 2009 г., с. 56-58.

## ТРЕХМЕРНОЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРА РВСПК-50000

*П.В. Чепур, А.А. Тарасенко*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Согласно ГОСТ 27751-88 и ГОСТ Р 52910-2008 резервуары объемом от 50000 м<sup>3</sup> и более относятся к сооружениям I повышенного уровня ответственности и I или II (в зависимости от расположения) класса опасности, это налагает особые требования к техническому состоянию конструкций, работающих в сложном напряженно-деформированном состоянии (НДС). Зачастую расчетная схема нагружения включает в себя не только проектные эксплуатационные нагрузки (гидростатическое, избыточное и вакуумметрическое давления, снеговая и ветровая нагрузки, вес оборудования), но и непростые, вызванные трудно прогнозируемыми факторами: изменениями гидрогеологических условий площадки объекта, повышением интенсивности перекачки вследствие технологических нужд, а также возможными ошибками на стадиях проектирования и монтажа объекта. Всевозможные комбинации неосесимметричных нагрузок могут приводить к появлению и развитию неравномерных осадок наружного контура днища РВС и просадочных зон его центральной части, отклонениям стенки и конструкций кровли от правильной геометрической формы и т.д. В настоящий момент не разработано универсальных аналитических моделей и зависимостей, позволяющих с достаточной точностью и достоверностью определить НДС конструкции крупногабаритных резервуаров в нестандартных условиях работы. Однако развитие численных методов и программных способов их реализации позволяет по-новому взглянуть на существующую проблему.

Работы авторов [1–5] посвящены исследованиям НДС резервуара РВС-20000 при развитии неравномерных осадок. В работах впервые определены предельные величины деформаций металлоконструкций резервуара данного типоразмера, которые могут появиться при развитии осадки (параметры конструктивной жесткости); выполнена оценка влияния стационарной крыши и кольца жесткости при неосесимметричных нагрузках; определено влияние элементов дополнительной жесткости (трубопроводы ГУС, СППТ, ПРП и аварийного сброса) на НДС стенки резервуара при развитии осадки и т.д. Полученные результаты и зависимости позволили получить аналитические выражения, ограничивающие предельно допустимые величины осадки РВС-20000 с учетом перечисленных выше факторов.

Распространить полученные авторами в [6–10] результаты исследований на другие типоразмеры крупногабаритных резервуаров, построенных по различным проектам, не представляется возможным, поскольку их конструкции имеют существенные различия, что определяет конструктивную

жесткость сооружения. Рассмотрим создание модели резервуара с плавающей крышей РВСПК-50000. Конструкция данного сооружения имеет принципиальные отличия от модели РВС-20000, созданной в [11]: стационарная крыша отсутствует, имеется внешнее ветровое кольцо с распорками и два дополнительных кольца жесткости. Предлагается рассмотреть расчетную схему конечно-элементной модели РВСПК-50000.

### 1. Пространственное геометрическое моделирование и характеристики конструкций

- геометрическая модель построена по проекту РВСПК-50000 «ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ», диаметр составляет 60,7 м, высота – 17,95 м;

- толщины стенки варьируются от 8 до 17 мм с выравниваем по внутренней поверхности, толщина листов окрайки и центральной части днища составляет 6 мм;

- на V и VIII поясах стенки предусмотрены кольца жесткости из гнутого профиля – уголка 100х300 толщиной 8 мм;

- ветровое кольцо представляет собой L-образную конструкцию сопряженных листовых и балочных элементов, подкрепленную распорками с интервалом 2,5 м, приваренными к XII поясу стенки через промежуточные монтажные пластины;

- резервуар опирается на железобетонный кольцевой фундамент прямоугольного профиля с размерами 1,5х0,4 м;

- для нижних 9 поясов стенки и окрайки задаются свойства стали 16Г2ЛФ-15 и 09Г2С для других конструкций (с гарантированным пределом текучести  $\sigma_T = 345$  МПа).

### 2. Граничные и контактные условия

- резервуар свободно опирается на основание и передает нагрузку на грунт через центральную часть днища и фундаментное кольцо;

- для моделирования грунта используется Винклеровская линейно-упругая теория деформаций. Свойства грунта характеризуются коэффициентом постели:  $C = p/s$ , где  $p$  – давление на основание, Па;  $s$  – осадка основания, м. Для искусственно уплотненного грунта (по проекту) принимается коэффициент постели  $C = 2 \times 10^8$  МН/м<sup>3</sup>;

- верхняя кромка не защемляется, деформации стенки, кольца жесткости и других элементов не ограничены по направлению;

- промежуточные кольца жесткости на V и VIII поясах стенки имеют связанный контакт типа «bonded», моделирующий сварное соединение, что отражает их реальную жесткость; сварные контакты всех металлоконструкций имеют связанные контакты, исключающие возможность их разделения вплоть до разрушения. Алгоритм реализации таких контактов – расширенный метод Лагранжа, позволяющий определить относительный экстремум непрерывной функции, являющейся максимумом или минимумом при выполнении дополнительных условий в форме уравнений связи.

### 3. Действующие нагрузки

- нагрузка от гидростатического давления хранимой нефти  $\rho = 865 \text{ кг/м}^3$  приложена по внутренней поверхности стенки, высота разлива хранимой жидкости  $H_{\text{взл}} = 17 \text{ м}$ ;

- снеговая нагрузка приложена к верхней грани полки ветрового кольца и составляет 4000 Па, что соответствует VI снеговому району;

- ветровая нагрузка прикладывается к наружной поверхности стенки и составляет 480 Па, что соответствует IV ветровому району.

#### 4. Конечно-элементная дискретизация модели с созданием сетки

- разбиение модели производится на 2 типа геометрических примитивов: большая часть заполняется параллелепипедами, а где это невозможно используются трехгранные призмы исходя из того, что любое ребро не должно превышать величины 1,5 м (для II-XI поясов стенки), 0,2 м – для I пояса стенки и 0,4 м для других элементов. При этих параметрах погрешность аппроксимации сетки не превышает 5%;

- в контактных зонах и для малых элементов (пластины и балки крепления ветрового кольца) производится локальное измельчение сетки с размером элементов до 0,01 м.

На рис. 1 представлена расчетная схема РВСПК-50000 с учетом приведенных выше параметров. На рисунке изображена модель резервуара с выполненным разбиением на конечно-элементную сетку, обозначены основные конструктивные элементы, на разрезе (справа) показано упругое закрепление фундамента и днища, направления действия гидростатической и снеговой нагрузок.

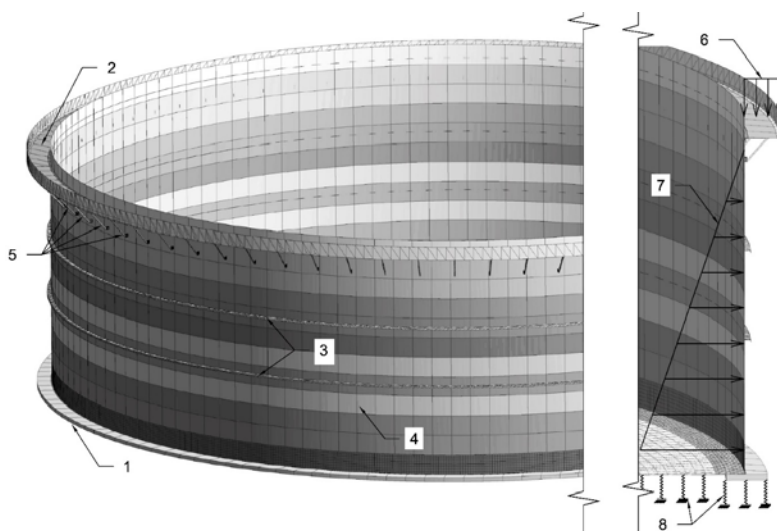


Рис. 1. Расчетная схема РВСПК-50000

Чтобы убедиться в адекватности разработанной модели выполнено сравнение результатов расчетов известной аналитической задачи С.П. Тимошенко для цилиндрической оболочки, нагруженной гидростатической нагрузкой. Для этого был проведен дополнительный расчет с упрощением созданной модели: поскольку аналитическая модель С.П. Тимошенко не учи-

тывает наличие колец жесткости, распоров – эти элементы были скрыты в нашей верификационной модели, также была принята толщина стенки равная 17 мм по всем поясам. Эти условия позволили сравнить численные результаты с аналитическими в полностью эквивалентных условиях. Установлено, что разница в результатах (для напряжений в стенке и её радиальных перемещений) не превысила 1,5%, что свидетельствует об удовлетворительной корреляции результатов с проверенным аналитическим решением.

Результаты расчетов сведены на графиках рис. 2 и 3, где приведены зависимости радиальных прогибов и действующих напряжений в стенке РВСПК-50000 от величины взлива нефти. В одной координатной плоскости показаны значения для упрощенной модели (по которой проводилась верификация путем сравнения с аналитическим решением С.П. Тимошенко), предлагаемой высокодетализированной модели и модели Г.Е. Коробкова с упрощенной конструкций ветрового кольца и дополнительных колец жесткости.

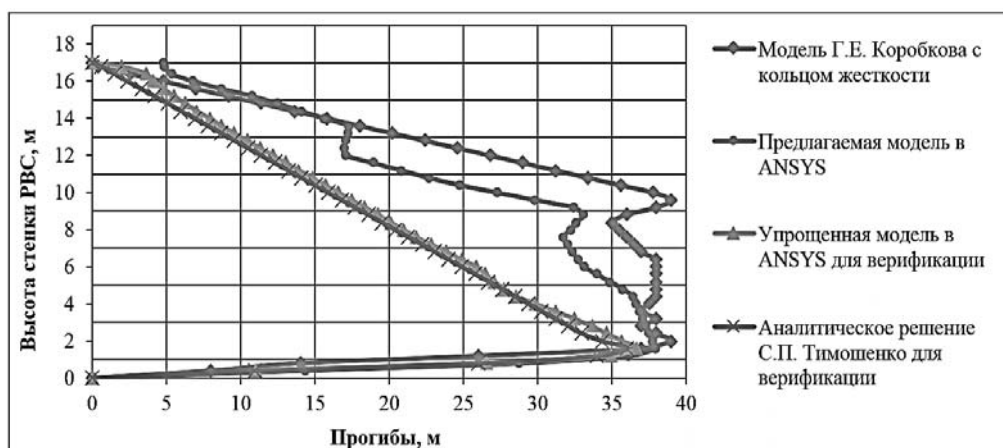


Рис. 2. Зависимости радиальных прогибов стенки РВСПК-50000 от величины взлива нефти



Рис. 3. Зависимости действующих эквивалентных напряжений в стенке РВСПК-50000 от величины взлива нефти

Анализ полученных эпюр распределения напряжений и перемещений, построенных зависимостей по результатам расчетов свидетельствует о том, что в местах монтажа колец жесткости со стенкой имеются скачки напряжений. Этот факт необходимо учитывать при решении как стандартных осесимметричных задач, так и при анализе сложного неосесимметричного напряженно-деформированного состояния, вызванного осложненными условиями эксплуатациями.

Выводы:

1. Разработана и верифицирована модель резервуара РВСПК-50000, созданная авторами в программном комплексе ANSYS, реализующем алгоритмы автоматизированного составления и решения систем линейных алгебраических уравнений методом конечных элементов. Впервые учтены геометрические и конструктивные параметры ветрового кольца на верхнем поясе резервуара, построенные по детализировочным чертежам в соответствии с реальным проектом.

2. Получены численные зависимости радиальных прогибов стенки и возникающих действующих напряжений в нейтральном слое от уровня хранимой нефти. Установлено, что зона максимальных напряжений и перемещений стенки находится на уровне 1-го горизонтального шва, соединяющего I и II пояса стенки резервуара. На уровне высоты стенки  $H_{ст} = 1,5$  м максимальные прогибы составляют  $\omega_{ст} = 39$  мм,  $\sigma_{max} = 253$  МПа.

3. Выполненная модель может быть использована для получения достоверных значений НДС металлоконструкций РВСПК-50000, эксплуатируемого в осложненных условиях: непроектном неосесимметричном нагружении, вызванном развитием неравномерных осадок наружного контура днища, воздействием штормового ветра и прочих факторов.

#### Список литературы

1. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Грученкова А.А., Соколов С.С. Оценка влияния трубопроводов системы подслоного пожаротушения на напряженное состояние резервуара при осадке основания // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-8. С. 1698-1703.
2. Чепур П.В., Тарасенко А.А., Грученкова А.А., Антонов И.В. Численный анализ влияния жесткости газоуравнительной системы при развитии осадок резервуара // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-6. С. 1292-1296.
3. Чепур П.В., Тарасенко А.А., Грученкова А.А. Анализ возможности использования критериев стандарта API-653 для оценки неравномерной осадки резервуаров отечественных типоразмеров // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-3. С. 514-519.
4. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Эволюция взглядов на вопросы определения величины допустимых осадок резервуаров // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-1. С. 67-84.
5. Чирков С.В., Тарасенко А.А., Чепур П.В. Определение оптимального количества тросов поддержки днища при подъеме резервуара // Известия вузов. Нефть и газ. 2014. № 5. С. 72-78.

6. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Грученкова А.А., Соколов С.С. Оценка влияния трубопроводов системы подслоного пожаротушения на напряженное состояние резервуара при осадке основания // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11-8. С. 1698-1703.
7. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Грученкова А.А. Использование критериев стандарта API-653 для оценки допустимой величины осадки днища резервуаров // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12-7. С. 1418-1422.
8. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Тарасенко Д.А. Численное моделирование процесса деформирования резервуара при развитии неравномерных осадок // *Нефтяное хозяйство*. 2015. №4. С. 88-91.
9. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. Исследование собственной жесткости вертикального стального цилиндрического резервуара // *Нефтяное хозяйство*. 2014. №10. С. 121-123.
10. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Особенности совместной работы резервуара и устройств размыва донных отложений винтового типа // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2-8. С. 1671-1675.
11. Тарасенко А.А., Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние верхнего опорного кольца резервуара при неосесимметричных деформациях корпуса // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11-3. С. 525-529.

УДК 658.567.1:34 (975.8)

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА НЕФТЕШЛАМОВ**

*В.Д. Шантарин, М.Ю. Земенкова*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В работе предлагается методика теоретического расчета выхода продуктов пиролиза углеродсодержащего сырья, например, твердых бытовых и промышленных отходов в виде нефтешламов, с целью получения жидких углеводородов, пригодных для использования в качестве моторного топлива, получаемых процессами высокотемпературного пиролиза и процесса Фишера-Тропша.

Для моделирования процессов пиролиза учитываются лишь реакции идущие по свободно-радикальному механизму в газовой фазе. Это накладывает ограничения на применимость модели.

К преимуществам метода относится вычислительная простота метода, хорошая изученность высокотемпературных реакций с участием углерода. Для вычислений используется метод имитационного моделирования. Метод выполним на любом современном ПК

В современную эпоху нефть добывается на 15 % поверхности земного шара, в том числе, более чем на 1/3 поверхности суши [1]. В мире насчитываются более 40 тысяч нефтяных месторождений – потенциальных оча-



гов воздействия на природные геосистемы. В настоящее время ежегодно во всем мире добывается от 2 до 3 млрд. т нефти [2], и по приближенным данным, ежегодно поверхность земного шара загрязняется порядка 30 млн. т нефти, что эквивалентно потере человечеством одного крупного нефтяного месторождения [3].

Экспертные и официальные данные доказывают, что проблема сокращения мест размещения, объемов образования и комплексной переработки нефтеотходов является одной из актуальных в отрасли.

Одна из перспективных технологий переработки этих отходов - пиролиз с возможностью получения высококалорийных углеводородов нефтяного ряда. Он незаменим и при уничтожении опасных отходов (медицинских отходов, химического оружия), энергоэффективен, лишен многих недостатков сжигания, компостирования и складирования, подвергающего опасности настоящие и будущие поколения.

Существенный фактор, ограничивающий применение пиролиза - сложный состав исходного сырья. Подбор параметров для каждого вида сырья требует сложных и дорогостоящих исследований. Альтернативный подход к оптимизации параметров процесса пиролиза - исследование математической модели процесса.

Теоретически обоснованы модели пиролиза, базирующиеся на истинном механизме протекания процесса с участием свободных радикалов (свободно-радикальные модели) [3].

В физической химии имеются эмпирические (закон Ле-Шаталье) и расчетные методики оптимизации химических реакций. Манипулирование температурой, давлением, катализатором позволяет максимизировать выход целевых продуктов реакции или оптимизировать процесс по экологической безопасности.

Традиционный подход в химии - составить многозвенный реактор, в каждом элементе которого происходит лишь одна или несколько химических реакций. В реакторах для сжигания, пиролиза, газификации одновременно идут сотни химических реакций. Классические методы для оптимизации таких систем непригодны. По мере возрастания числа химических реакций происходит не только количественный, но и качественный переход. Для оптимизации систем такой сложности требуются либо натурные эксперименты, либо математическая модель, адекватно описывающая сложную систему.

Для описания процесса пиролиза углеводородов предлагается математическая модель *pirogas*, реализованная на языке программирования Common Lisp. Набор реакций для пиролиза углеводородов взят из модели ТЕРАСУГ. В качестве исходного сырья использовалась целлюлоза, как одна из основных составляющих несортированного потока твердых бытовых отходов.

Модель *pirogas* состоит из четырёх элементов. Список - содержимое реактора и список всех возможных реакций процесса пиролиза с аррениусовскими параметрами скорости реакции и энергии активации.

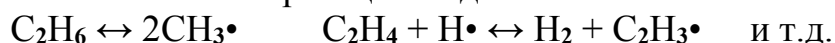
Предлагается использовать для оптимизации процесса пиролиза методы вычислительной химии применительно к модели со свободно-радикальным механизмом. Для минимизации расчетов для моделирования процессов пиролиза выбран мезомасштабный уровень, при этом рассчитывался лишь высокотемпературный пиролиз углеводородных соединений. В таких условиях реакции протекают в газовой фазе, с образованием свободных радикалов.

Выбранный для реализации язык программирования **LISP** – один из языков высокого уровня. Наиболее пригоден для моделирования сложных процессов, так как имеет особый вид объектов – списки. Таким образом, “цифровой реактор” - это список, над которым выполняются операции.

Основной лимитирующий фактор – не самая высокая скорость расчетов. Одно из допущений данной работы – задача вычислительно проста для решения на обычной современной ЭВМ.

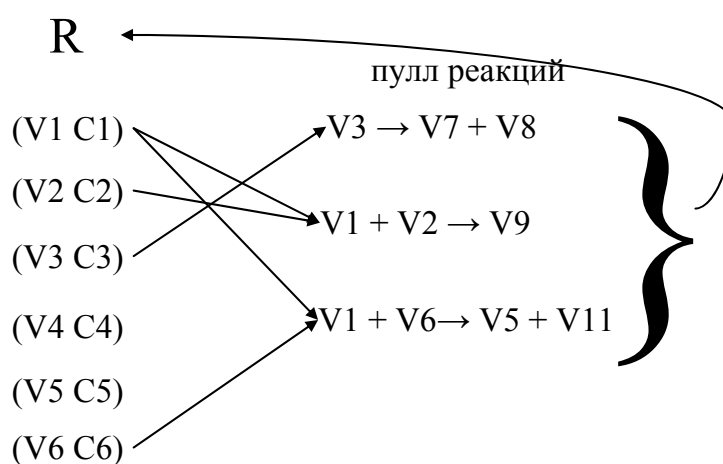
Для описания реакций, происходящих в реакторе, использована модель ТЕРАСУГ для углеводородов, разработанная ВНИИОС. При этом используется свойство математических моделей пиролиза, основанных на свободно-радикальном механизме реакций, более простые модели целиком входят в более сложные.

ТЕРАСУГ включает более 600 реакций вида:



Для каждой реакции известны аррениусовские параметры. На рисунке дана схема прохождения реакции в реакторе.

Что происходит в “реакторе”?



Процесс идёт итерационно, как показано на предыдущем слайде, до достижения граничных условий или равновесия в системе.

Рис.1 - Прохождение процесса

Процесс идёт итерационно до достижения граничных условий или равновесия в системе.

В качестве исходного сырья в модели использовалась целлюлоза. Экспериментальные и теоретические данные по выходу продуктов реакции приведены в таблицах [4-6].

Степень корреляции вычисленного выхода продуктов реакции с реальным выходом составила 40 %. Столь низкая степень корреляции вызвана недостаточной степенью приближения к реальным условиям. Не учитывалось наличие в реальном реакторе градиента полей температуры и плотности, различная степень дисперсности исходного сырья: в математической модели оно считалось идеально диспергированным. Таким образом, путь к повышению степени достоверности результатов - в усложнении модели, чтобы она учитывала большее количество реальных факторов.

Термодинамика и кинетика реакций рассчитываются классическими методами вычислительной химии. Поэтому в этих двух элементах точность моделирования зависит лишь от размера кванта времени (чем меньше, тем точнее) и точности вычислителя. Стадия физического моделирования вносит наибольшие погрешности в результат численного эксперимента.

Таблица 1

Результаты работы истинной модели пиролиза  
и экспериментальные данные

| Углеводород                   | Модель, выход % | Эксперимент, выход % |
|-------------------------------|-----------------|----------------------|
| H <sub>2</sub>                | 2,5             | 1,4                  |
| CH <sub>4</sub>               | 4,6             | 9                    |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 0               | 0,3                  |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 19,5            | 23,6                 |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 2,1             | 3,2                  |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> | 0               | 0,1                  |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> | 16,9            | 13,7                 |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | 0               | 0,4                  |
| C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> | 6,8             | 6,4                  |
| C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> | 9,1             | 5,8                  |
| Пироконденсат                 | 21              | 27                   |
| Тяжелая смола пиролиза        | 10,3            | 9,1                  |

Особенно большие трудности возникают при появлении катализа, так как структурное сродство играет там не меньшую роль, чем химическое и отсутствуют модели, удовлетворительно описывающие каталитические процессы.

Отличие оптимизации методом численного моделирования от метода блуждающего эксперимента в том, что методом блуждающего эксперимента трудно преодолеть области плато и седельные точки, что требует опыта и чутья экспериментатора. Для численного же моделирования эти области не представляют проблемы.

Таким образом, численное моделирование физико-химических процессов позволяет оптимизировать их по любому из критериев (выход продукта реакции, энергоэффективность). На данном этапе развития вычислительной химии проблемы появляются при моделировании физических процессов, особенно катализа.

При расчёте оптимальных температур высокотемпературного пиролиза для целлюлозы с минимизацией выхода водорода и максимальным выходом лёгких углеводородов при атмосферном давлении получены следующие значения:  $T = 846$  °К, водяной пар не более 4% об. Эти значения соответствуют полученным экспериментальным путём, однако, недостаточный учёт физических факторов требует соблюдения условий: равномерного прогрева реакционной зоны, время реакции много больше времени нагрева сырья, в сырьё отсутствуют вещества, обладающие каталитической активностью.

### Список литературы

1. Федеральный закон: Выпуск 5. Об охране окружающей среды. - М.: Инфра - М., 2002. - 51 с.
2. Экологическая доктрина Российской Федерации. - М.: Государственный центр экологических программ. 2002. – 40 с.
3. Мухина Т.Н. Пиролиз углеводородного сырья/ Т.Н. Мухина, Н.Л. Барабанов.// - М.: Химия, 1987. - 240 с.
4. Киселёв М.В. Алгоритм численного моделирования пиролиза углеводородов. / М.В. Киселёв, В.Д. Шантарин.// 11-ой Международный научно-технический семинар «Информационные системы и технологии в геологии и нефтегазодобыче». 40 лет ИГиГ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 28-30 ноября 2005. - С. 35-36.
5. Шантарин В.Д.. Пиролизная утилизация твердых бытовых отходов /
6. В.Д. Шантарин, И.О.Коровин // Монография. – Тюмень: Издательско- полиграфический комплекс ТюмГСХА. 2005. – 139 с.
7. Шантарин В.Д. Пиролизный метод утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений / В.Д. Шантарин, А.В. Медведев //Монография. – Тюмень: Издательско-полиграфический комплекс - ТюмГСХА. 2005. – 182 с.

УДК 504.064.4; 658.567.1:34 (075.8)

## МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА НЕФТЕШЛАМОВ

*В.Д. Шантарин, М.Ю. Земенкова*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В работе предлагается методика теоретического расчета выхода продуктов пиролиза углеродсодержащего сырья, например, твердых бытовых и промышленных отходов в виде нефтешламов, с целью получения жидких углеводородов, пригодных для использования в качестве моторного топлива

и сравнение эффективности высокотемпературного пиролиза и процесса Фишера-Тропша по выходу жидких углеводов. Для моделирования процессов пиролиза учитываются лишь реакции идущие по свободно-радикальному механизму в газовой фазе. Это накладывает ограничения на применимость модели. Для вычислений используется метод имитационного моделирования. Метод выполним на любом современном ПК

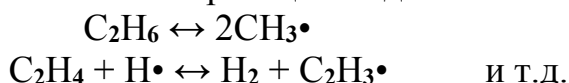
В результате роста мировых цен на нефть вновь стала актуальной разработка методов получения жидкого синтетического топлива. Жидкие углеводороды, пригодные для использования в качестве моторного топлива, получают процессами пиролиза, гидролиза, газификации, Фишера-Тропша и некоторыми другими [1-7].

При этом процессы пиролиза и Фишера-Тропша являются наиболее изученными и использовались на практике. Проведённая работа сравнивает теоретические эффективности процессов пиролиза и Фишера-Тропша (см.таблицу 1).

Химические реакции идущие в процессе Фишера-Тропша происходят в газовой фазе по свободно-радикальному механизму. Таким образом, энергетические параметры обоих процессов могут быть рассчитаны с использованием методики [1]. Имеется три вероятных механизма хода процесса Фишера-Тропша. Из них один отброшен, так как содержит гетерофазные реакции. Из двух оставшихся оба механизма имеют место при различных условиях реакции, что полностью учитывается алгоритмом численного моделирования [1].

Исходные данные для математической модели взяты из модели ТЕРАСУГ, для углеводородов. При этом используется свойство математических моделей пиролиза основанных на свободно-радикальном механизме реакций, более простые модели целиком входят в более сложные.

ТЕРАСУГ включает более 600 реакций вида:



Для каждой реакции известны аррениусовские параметры.

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности процесса высокотемпературного пиролиза и процесса Фишера-Тропша

| <i>Параметр</i>     | <i>Высокотемпературный пиролиз</i>                         | <i>Процесс Фишера-Тропша</i>    |
|---------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| • Катализ           | • Не применяется                                           | • Кобальт-ториевые катализаторы |
| • Температура       | • 900 С                                                    | • 370 С                         |
| • Тепловой эффект   | • Сильно эндотермична (но может быть самоподдерживающейся) | • Экзотермична                  |
| • Доступность сырья | • Углеродсодержащие отходы, биомасса                       | • Синтез-газ, вода              |

| <i>Параметр</i>                                                    | <i>Высокотемпературный пиролиз</i>                                                   | <i>Процесс Фишера-Тропша</i>                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Селективность</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Широкий диапазон продуктов реакции</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Выход 50% и более жидких углеводородов, отсутствуют смолы и сажа</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Механизм реакции</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Свободнорадикальный</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Преимущественно свободнорадикальный</li> </ul>                              |

Выбранный для реализации язык программирования **LISP** – один из языков программирования высокого уровня. Наиболее пригоден для моделирования сложных процессов, так как имеет особый вид объектов – списки. Таким образом, “цифровой реактор” – это список, над которым выполняются операции.

Основной лимитирующий фактор – не самая высокая скорость расчётов. Одно из допущений данной работы – задача достаточно вычислительно проста для решения на обычной современной рабочей станции.

Из расчётного алгоритма были исключены все элементы по оптимизации процессов. Таким образом, моделировались реакции идущие в обычном химическом реакторе в приблизительно изотермических и изохорных условиях. В таблице 2 приведены данные для расчета доверительного интервала при прохождении высокотемпературного пиролиза, а также процесса Фишера-Тропша (механизм 1,2 и 1-2). Доверительный интервал расчётов также различен для процессов.

С применением численной математической модели свободно-радикальных реакций в газовой фазе получены следующие суммарные тепловые эффекты реакций:

Высокотемпературный пиролиз: для целлюлозы – 109 кДж/моль

Процесс Фишера-Тропша: для целлюлозы – 126 кДж/моль, для антрацита – 79 кДж/моль, для природного газа – 69 кДж/моль.

Таким образом, наиболее энергетически выгодно получение синтетического жидкого топлива процессом Фишера-Тропша из природного газа.

Подсчёт экономической эффективности процесса получения жидких моторных топлив по обоим процессам гораздо более сложная задача, чем энергетический расчёт. Так как в результате процесса Фишера-Тропша из дорогого сырья получается готовое топливо. А в процессе пиролиза получается полуфабрикат – пиролизат, требующий дополнительной подготовки.

## Доверительный интервал расчётов

| Процесс                              | Доверительный интервал, % | Число «промахов» за 100 итераций [1] |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Пиролиз высокотемпературный          | 80                        | 2                                    |
| Процесс Фишера-Тропша (механизм 1)   | 60                        | 36                                   |
| Процесс Фишера-Тропша (механизм 2)   | 75                        | 24                                   |
| Процесс Фишера-Тропша (механизм 1-2) | 70                        | 31                                   |

Возможно, с подбором параметров процесса пиролиза и повышением выхода целевого продукта наиболее выгодным экономически станет процесс пиролиза, использующий отходы в качестве сырья.

## Список литературы

1. Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л.. Пиролиз углеводородного сырья. М.: Химия, 1987, 240 с.
2. Киселёв М.В. Сравнение эффективности высокотемпературного пиролиза и процесс Фишера-Тропша по выходу жидких углеводородов / М.В. Киселёв, В.Д. Шантарин. //Материалы четвертой Всеросс. конф. «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна», посв. 50-летию ТюмГНГУ.26-28 апреля 2006. – Тюмень: ТюмГНГУ,2006, 47-50. с. 233-239
3. Киселёв М.В. Алгоритм численного моделирования пиролиза углеводородов. / М.В. Киселёв, В.Д. Шантарин.// 11-ой Междунар.научно-техн. семинар «Информационные системы и технологии в геологии и нефтегазодобыче». 40 лет ИГиГ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 28-30 ноября 2005, с.35-36.
4. Киселёв М.В.. Способ оптимизации параметров сложных физико-химических процессов / М.В. Киселёв, В.Д. Шантарин.// Материалы Международной научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири» 25-27 октября 2005 . – Тюмень,ТюмГНГУ, т.2. , - с.225-226.
5. Киселёв М.В. Математическое моделирование реакций со свободно-радикальным механизмом / М.В. Киселёв, В.Д. Шантарин.// 4-й Международный конгресс по управлению отходами «ВЭЙСТЭК-2005» Сборник докладов. Москва.31 мая- 3 июня 2005, Изд-во ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл». - С. 285-286.
6. Шантарин В.Д.. Пиролизный метод утилизации осадков сточных вод городских очистных сооружений / В.Д. Шантарин, А.В. Медведев // Монография. – Тюмень: Издательско-полиграфический комплекс ТюмГСХА. 2005. – 182 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕЗЕРВУАРОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

*А.У. Якупов, Н.В. Шатайлова, В.И. Кучерюк*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Хранение нефти осуществляется в специализированных емкостях – резервуарах. Резервуары служат емкостью для хранения нефти, участвуют при сливо-наливных операциях. Основными правилами являются требования хранения нефтепродуктов в герметичных резервуарах с исправным запорным оборудованием. Для хранения нефти используют разнообразные резервуары для нефтепродуктов. Емкости для хранения нефтепродуктов производятся из негорючих материалов, их разделяют на металлические и неметаллические. Наиболее востребованы металлические резервуары, но все большее распространение получают резервуары, выполненные из неметаллических материалов. Конструкции резервуаров, выполненных из металла, обладают свойством хладноломкости. Хладноломкость – свойство металлов при пониженных температурах хрупко разрушаться. У металлов есть свойство пластически деформироваться, а оно, как правило, зависит от температуры металла. Как правило, с понижением температуры в металле резко уменьшаются пластические деформации. Начинает возрастать сопротивление сдвига, но металл становится хрупким, теряя при этом способность к пластической деформации, как бы пропуская это состояние. Так же материалы конструкций резервуаров обладают свойством теплопроводности. Теплопроводность — это процесс переноса внутренней энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым частям. Теплопроводность стали используемой для изготовления материалов конструкций резервуара  $\lambda = 54 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , а например теплопроводность гранита  $\lambda = 3.49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ . При таком значении теплопроводности металла, при отрицательных температурах, неизбежно будут большие потери тепла, что увеличивает затраты энергии при сливе нефти из резервуара. Применение резервуаров выполненных из неметаллических материалов целесообразней, а особенно из композитных материалов с меньшим значением теплопроводности.

Композитные материалы представляют собой гетерофазные системы материалов, в которых скомбинированы два или более несхожих материалов, каждый из которых обладает своими собственными характерными желательными свойствами [1],[2]. Композиты можно разбить на группы:

1. Неуправляемые композиты – композиты, которые мало меняют свои свойства при внешнем воздействии;



2. Управляемые композиты - это композитные системы, которые изменяют физико-механические свойства в течение эксплуатации при внешнем воздействии, включая управляющие [3].

В свою очередь неуправляемые композиты можно классифицировать на подгруппы по типу матриц, армирования и слоистости. По типу матриц делятся на: полимерные, углеродные и керамические материалы. Металлическая матрица связывает волокна (дисперсные частицы) в единое целое. Для них характерны высокие значения прочностных характеристик, модулей упругости, вязкости разрушения, ударной вязкости; эти материалы сохраняют стабильность своих характеристик в более широких температурных интервалах, чем материалы с полимерными матрицами. По типу армирования: волокнистые композиты, армированные волокнами или нитевидными кристаллами. При деформировании такого материала нагрузка в основном воспринимается волокнами и используется их высокая прочность. Особенность волокнистой композиционной структуры заключается в равномерном распределении высокопрочных, высокомодульных волокон в пластичной матрице. Другая отличительная особенность волокнистой композиционной структуры анизотропия свойств.[4-6]

Конструкция резервуара выполненного из композитного материала представлена трехслойным композитом на рис. 1.

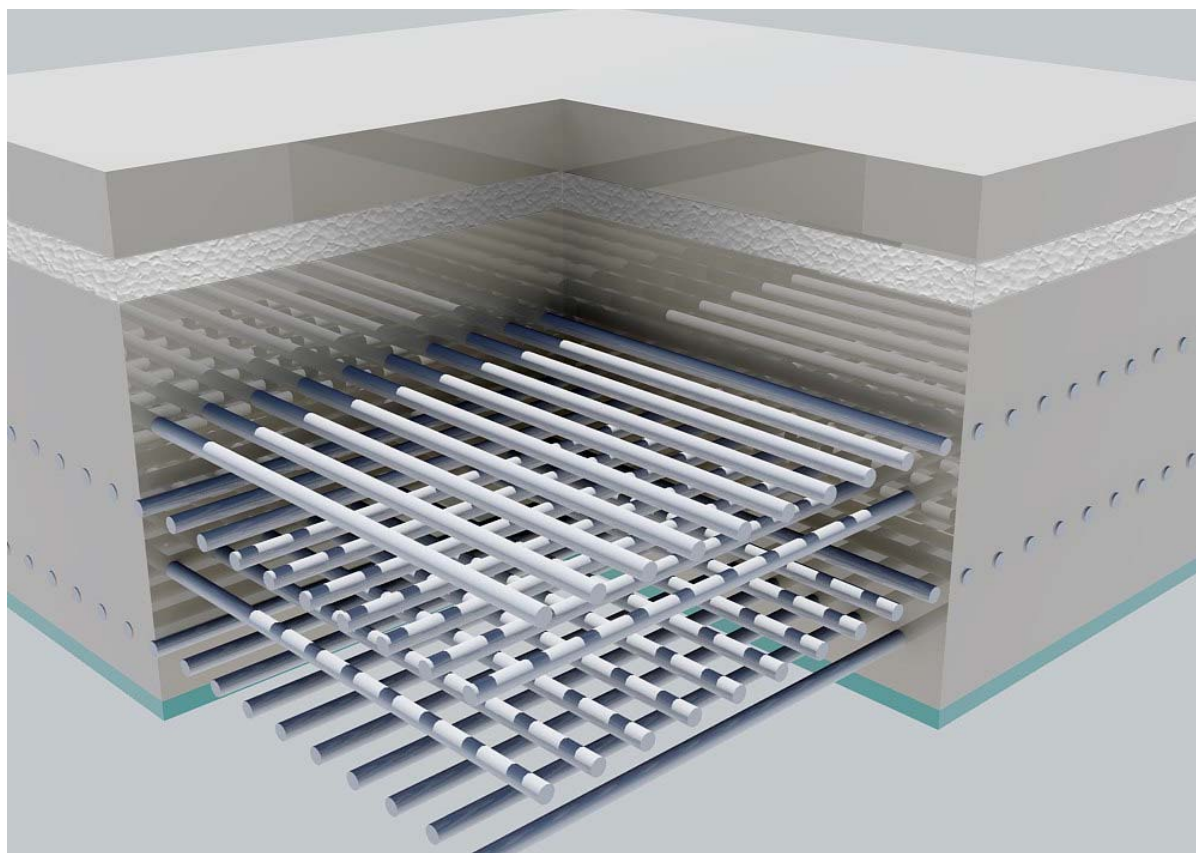


Рис. 1. Трехслойный композитный материал

Внутренний маслостойкий слой, на основе полиакрилонитрила отличается высокой устойчивостью к действию жиров, нефтепродуктов. Полиамидные волокна представляют собой синтетические волокна, изготавливаемые и формуемые из сплавов полиамидов. Средний несущий слой, армированный органическим волокном, наполнитель полиэтилен. Внешним слоем представляет вакуумный теплоизоляционный материал с высокими показателями тепловой изоляции.

Технология изготовления композитного материала предусматривает три наиболее важных этапа: синтез полимера, формование волокна и текстильная обработка. При формировании несущего слоя, наполнитель будет наноситься послойно, чередуясь с армирующими элементами. В наружной части наноситься вакуумный теплоизоляционный материал на основе волокна. Внутренняя часть покрывается маслостойким слоем.

Тепловые потери  $Q_{пр}$ , кВт, приведены в таблице 1 и определяются по формуле (1).

$$Q_{пр} = \frac{\pi \cdot H \cdot (t_n - t_{oc})}{\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} \cdot \frac{1}{\alpha_2 d_n}}$$

где  $H$  – высота резервуара, м;  $t_n$  – температура нефти,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{oc}$  – температуры окружающей среды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\delta_{ст}$  – толщина стенки, м;  $\delta_{из}$  – толщина изоляции, м;  $\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности стенки резервуара,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ;  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности материала изоляции,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$ ;  $d_n$  – диаметр резервуара, м.

Таблица 1

Тепловые потери резервуара, кВт

| Материал конструкции резервуара | Тепловые потери $Q_{пр}$ , Вт |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Металл                          | 251789,152                    |
| Композит                        | 8353,605                      |

Стоимость годовых тепловых потерь  $S_{пт}$ , руб/год, определяем по формуле (2) и приведены в таблице 2.

$$S_{пт} = \frac{Q_{пр}}{\eta} \cdot \tau \cdot S_T \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия;  $\tau$  – время, ч;  $S_T$  – стоимость электроэнергии, кВт · ч.

Таблица 2

Тепловые потери в денежном эквиваленте, млн. рублей

| Материал конструкции резервуара | Затраты на подогрев $S_{пт}$ , рублей/год |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
| Металл                          | 11795200                                  |
| Композит                        | 367920                                    |

Сравнивая два резервуара, по стоимости годовых тепловых потерь, видно, что затраты на подогрев и поддержание температуры в резервуаре, выполненном из композитных материалов будет расходоваться меньше тепловой энергии и как следствие меньшие затраты денежных средств, в эксплуатации. Применение резервуара выполненного из композитных материалов в условиях севера является целесообразным.

### Список литературы

1. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др. Композиционные материалы: Справочник / Под общ.ред. В.В. Васильева. Ю.М. Тарнопольского. М.: Машиностроение. 1990. 512 с.
2. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов: учеб.пособие М.: Изд-во Моск. ун-та.1984. 336с.
3. Кучерюк В.И., Шатайлова Н.В. Материалы с управляемым физико-механическим состоянием // Сборник докладов VIII Международной конференции по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте – Санкт-Петербург. – 2012.с.106-109.
4. Кучерюк В.И., Шатайлова Н.В. Классификация композитных материалов//Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. —с. 164-166.
5. Кучерюк В.И., Спиридонова Н.А., Шаптала И.В., Шатайлова Н.В. Классификация и оптимизация композитных материалов // Сборник докладов Всероссийской конференции «Проблемы оптимального проектирования сооружений». Новосибирск: НГАСУ, 2014.с. 240-248.
6. Кучерюк В.И., Шатайлова Н.В.Классификация и оптимальное проектирование управляемых композитных материалов // Сборник тезисов докладов IX Международной конференции по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте – Санкт-Петербург. – 2014.с.58-59.

## ГРУЗОВОЙ АВТОТРАНСПОРТ НА ЭЛЕКТРОТЯГЕ

*А.В. Базанов, Е.С. Козин, Г.К. Буторин*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Автомобильные грузоперевозки играют важную роль как в производственной, так и в торговой сфере экономики страны. Благодаря универсальности данного вида транспорта, оптимального соотношения цены и скорости перевозок, развитию автомобильных путей сообщения и другой инфраструктуры его доля в общем объеме грузоперевозок с каждым годом возрастает (в России данный показатель составляет около 70%). Соответственно возрастает и количество грузовых автомобилей. Такая тенденция приводит к ухудшению экологических условий в крупных городах и вдоль оживленных трасс, так как дизельные двигатели, на которых в основном работают грузовые автомобили, производят выброс вредных веществ (углеводороды, оксид азота, сажа). Кроме того, стоимость обслуживания автотранспорта с двигателем внутреннего сгорания высока, доля транспортных издержек в стоимости некоторых видов товаров может достигать до 30-40%. Решением вышеописанных проблем может стать использование грузовых автомобилей на электротяге.

Идея использования электродвигателя в качестве силовой установки для автотранспорта берет свое начало еще в 19 веке, однако, наиболее широкое развитие она приобрела 10-15 лет назад в связи с появлением более совершенных аккумуляторных батарей и увеличением цены на нефтепродукты. Разработкой электрокаров занимались и занимаются практически все крупные автоконцерны, однако, наибольших успехов добились такие компании как Honda, GM, BMW, BYD и Tesla. Как правило, основными сегментами являются легковые автомобили и автобусы, но прогресс коснулся и грузовых автомобилей. В частности, немецкая компания BMW в этом году представила общественности 40-тонный грузовой автомобиль на электротяге со 100-километровым запасом хода Terberg Type YT202-EV (рис. 1) [1]. В мае этого же года российская компания КАМАЗ начала дорожные испытания своего электрогрузовика на базе КАМАЗ-4308 [2]. Кроме того, швейцарская компания E-Force приблизилась к серийному выпуску тягача на электротяге E-Force One (рис. 2) [3].

Можно сказать, что грузовой автотранспорт с электрической силовой установкой это дело ближайшего будущего. К его несомненным преимуществам относится полное отсутствие вредных выбросов, высокие тяговые

показатели, низкая стоимость обслуживания (в 5 раз ниже чем обслуживание дизельных грузовых автомобилей) и малозумность. Однако, не смотря на все достоинства данного вида транспорта, у него есть один существенный недостаток – недостаточная энергоёмкость аккумуляторных батарей. По этому показателю данные устройства значительно уступают дизельному топливу.



Рис. 1. Грузовик Terberg Type Y202-EV от BMW

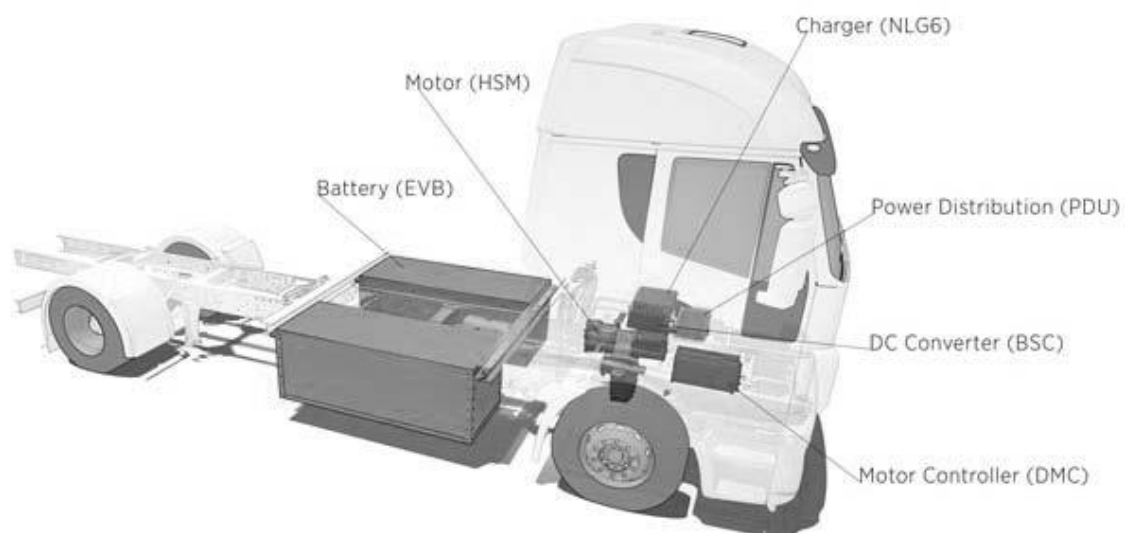


Рис. 2. Грузовик E-Forse на базе фургона Iveco

Одним из наиболее совершенных прототипов грузового автомобиля на электротяге является вышеупомянутая разработка компании E-Force на базе фургона Iveco. Его испытания были начаты в 2013 году, в ходе которых были получены высокие результаты. Основное внимание привлекает энергоустановка представляющая собой два электродвигателя BRUSA с жидкостным охлаждением общей мощностью 300 кВт и 610 Нм крутящего момента. По заявлениям конструкторов компании КПД энергоустановки доходит до 97% против 30-40% КПД дизельных двигателей. Диапазон рабочих оборотов доходит до 12000 об/мин. Это позволяет разогнать грузовик снаряженной массой 8 тонн до 85-90 км/ч. Несмотря на меньшую по сравнению с дизельными грузовиками максимальную скорость (этот недостаток весьма спорен, так как максимально разрешённая скорость для грузовых автомобилей в России составляет 90 км/ч), в городском режиме старт-стоп автомобиль с силовой электроустановкой будет иметь большую среднюю скорость за счёт лучших разгонных показателей. Электродвигатели помимо их высоких скоростных и нагрузочных характеристик имеют и еще один немаловажный плюс: компактность (габаритный размер одного агрегата составляет 50x50x50см). Это позволяет снизить габаритные размеры грузового автомобиля или же установить дополнительное оборудование без изменения геометрии подкапотного пространства. Коробка передач и сцепление полностью автоматизированные. Электронный блок управления отвечает за все рабочие органы автомобиля, что способствует наиболее эффективной его работе. Расход энергии двигателем составляет: по шоссе – 80-110 кВт на 100 км, что соответствует 8-11 литрам дизельного топлива, по городу – 60-90 кВт на 100 км, что соответствует 6-9 литрам дизтоплива. В связи с этим стоимость эксплуатации электрогрузовиков значительно ниже дизельных аналогов. При всех достигнутых положительных результатах разработчикам E-Force One не удалось справиться с основным недостатком электромобилей – низкой энергоёмкостью аккумуляторных батарей. На рассматриваемом автомобиле установлены два аккумулятора по 120 кВт/ч, полной зарядки которых хватает в режиме шоссе – 200-220 км, города – 280-300 км. Запас хода явно недостаточный при совершении междугородних грузоперевозок. При этом суммарный вес батарей составляет 2,5 тонны, что значительно снижает коэффициент полезной нагрузки. Помимо большого веса аккумуляторы имеют и еще один недостаток: долгая скорость зарядки. При использовании 64-амперной 380-вольтовой электросети она составляет 6 часов до полного заряда, при 32-амперной – может доходить до 12 часов.

Решение вышеописанных проблем – это ключ к успеху электроавтомобилей в области межгородских и транснациональных грузоперевозок. На сегодняшний день существует несколько путей: разработка более эффективных зарядных устройств, внедрение принципиально новых аккумуляторных батарей и развитие сети станций обслуживания электрогрузовиков.

В последние 5 лет было разработано и внедрено немало высокоэффективных зарядных устройств, одним из таких является зарядное устройство постоянного тока стандарта CHAdemo, работающее от сети мощностью до 500 кВт. Оно способно подзарядить полностью разряженные батареи электрогрузовика до 80% их ёмкости за 25-30 минут. Однако недостатком таких систем является снижение ресурса аккумуляторов при их использовании. Что касается самих аккумуляторных батарей и перспектив их развития, то на сегодняшний день наиболее эффективным является внедрение литиево-воздушных батарей. Их энергоёмкость благодаря использования новых принципов накопления заряда посредством углеродного волокна в 4 и более раз превосходит современные литиево-ионные батареи, используемые в электрокарах. Кроме того, они обладают меньшей массой, что особенно актуально при реализации их на грузовых автомобилях. Однако, несмотря на все современные достижения внедрение электрогрузовиков в транспортную сеть невозможно без разработки соответствующей инфраструктуры. Она должна включать в себя как разработку новой сети сервисного обслуживания, так и реконструкцию старой, в том числе сети АЗС (автозаправочных станций). Обустройство АЗС высокоэффективными зарядными устройствами, возможность проведения сервисного обслуживания на пути следования автомобиля с возможностью оперативной смены аккумуляторов многократно повышает эффективность и конкурентоспособность данного вида транспорта.

Безусловно грузовые автомобили на электротяге это реалии завтрашнего дня. Высокая эффективность совместно с экономичностью и экологичностью этого транспорта делает его с каждым годом предпочтительнее в виду ограниченности запасов углеводородов и неудовлетворительным состоянием окружающей среды. Одной из наших задач, как будущих специалистов в области автотранспорта, может заключаться в разработке необходимой инфраструктуры и нормативно-технической документации для эффективного использования этого транспорта будущего.

### Список литературы

1. БМВ разработала полноценный грузовик только на электротяге [Электронный ресурс] // slawyanka.info: информ.-справочный портал. С-Пб., 2013–2015. URL: <http://slawyanka.info/archives/279675> (дата обращения: 14.09.2015)
2. Захаров А. КАМАЗ начал дорожные испытания грузовика на электротяге [Электронный ресурс] // zr.ru: информ.-справочный портал. М., 1928–2015. URL: <http://www.zr.ru/content/news/787163-kamaz-nachal-dorozhnye-ispytaniya-gruzovika-na-elektrotyage/> (дата обращения: 14.09.2015).
3. Минаев Д., Петров Ю. Шоу стопперов IAA HANNOVER 2014 (часть 2) [Электронный ресурс] // gruzovikpress.ru: информ.-справочный портал. М., 1994–2015. URL: <http://www.gruzovikpress.ru/article/test/?ext=1046-iaa-hannover-2014-shoustopperov-ch-2> (дата обращения: 14.09.2015).

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

*В.И. Бауэр, Е.С. Козин, А.В. Базанов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В настоящее время сооружается и обслуживается большое количество линейно протяженных объектов. Линейная часть магистральных трубопроводов (ЛЧ МТ) – важный стратегический объект. Широкий перечень работ на нем выполняется землеройной техникой: разработка и выемка грунта, транспортирование его к месту кладки, укладка грунта в насыпь или отвал, отделка земляного сооружения и т.д [1]. При этом транспортные подразделения ответственных за работы организаций могут находиться в удалении от основных баз и прочих инфраструктурных объектов. В таких условиях увеличиваются издержки на обеспечение процессов эксплуатации техники, в том числе на запасные части. Затраты могут возрасти при отсутствии эффективных механизмов планирования, нормирования и логистики. Например, Талаканское УТТ ОАО «Сургутнефтегаз» является труднодоступным объектом. Доставка запасных частей туда возможна воздушным либо наземным транспортом. Первый способ довольно дорог, а второй требует значительных затрат времени (рис. 1).



Рис. 1. Варианты доставки запасных частей до Талаканского УТТ



Ошибки при формировании фонда запасных частей, несвоевременность принятия решения могут повлечь за собой простои в ожидании доставки запасных частей либо большие затраты на их транспортировку. Таким образом, повышение эффективности эксплуатации экскаваторной техники «Талаканского УТТ» путем оптимизации нормирования расхода запасных частей является актуальной проблемой, требующей научного подхода к ее решению.

Одной из методик, применяемых на предприятиях в настоящее время, является методика планирования потребности в запасных частях по результатам прошлых периодов. Однако, в исследованиях [2] было установлено, что объемы работ по ремонту МТ могут значительно отличаться по месяцам и по годам. Поэтому такой метод планирования может приводить к существенной разнице между планируемыми и фактическими затратами на запасные части, при этом резервируемые средства могут быть занижены или, наоборот, превышать реальную в них потребность.

Основой для организации работ по ремонту МТ является годовой план работ. Установив взаимосвязь между количеством ремонтов МТ и суммарной наработкой одной единицы техники за этот же период, можно будет осуществлять более точное прогнозирование потребности в запасных частях.

Путем обработки статистических данных о законах распределения наработки техники на одном ремонте МТ с помощью имитационного моделирования была установлена закономерность влияния количества ремонтов МТ на наработку задействованных в них экскаваторов, которую с высокой долей адекватности можно описать линейной моделью:

$$L = 67,36 \cdot N_{\text{рем}} + 78,738, \quad (1)$$

где  $L$  – наработка экскаваторов при ремонте ЛЧ МТ, мото-ч;  $N_{\text{рем}}$  – количество ремонтов нефтепровода за рассматриваемый период времени, шт.

Графически полученная зависимость представлена на рис. 2.

Таким образом, в основу предлагаемой методики планирования положена установленная взаимосвязь объемов работ основного производства с объемами работы техники.

При наличии плана работ по ремонту МТ, рекомендаций завода-изготовителя техники по межсервисным интервалам и перечню регламентированных работ, а также данных о надежности техники в конкретных условиях по каждой марке экскаваторов были составлены сводные таблицы периодичности ТО и перечень выполняемых работ (табл. 1).

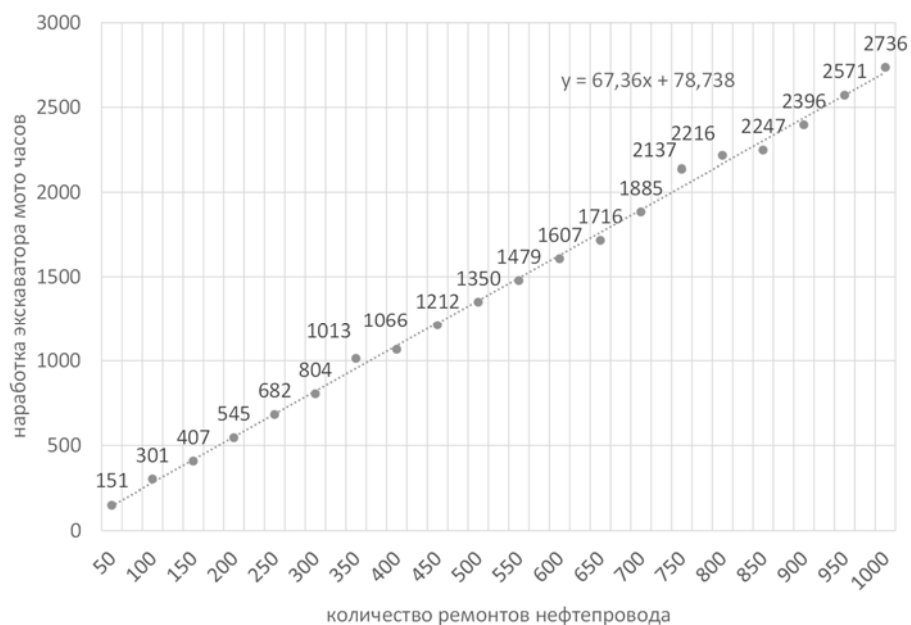


Рис. 2. Закономерность влияния количества ремонтов нефтепровода на наработку экскаваторной техники

Таблица 1

Перечень регламентных операций экскаваторов  
Komatsu PC400 и их периодичность

| Наименование работ                                                                                                                                                                                                                    | Периодичность, мото-ч |      |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                       | 200                   | 4800 | 7200 | 12800 |
| Смазка: (1-соединительный палец рукояти и рычажного механизма, 2-соединительный палец рукояти и ковша, 3-соединительный палец рычажного механизма, 4-палец штока цилиндра ковша,; 5-соединительный палец ковша и рычажного механизма) | +                     | +    | +    | +     |
| ...                                                                                                                                                                                                                                   |                       |      |      |       |
| Проверка и регулировка натяжения ремня вентилятора, ремня генератора (либо его замена)                                                                                                                                                | +                     | +    | +    | +     |
| ...                                                                                                                                                                                                                                   |                       |      |      |       |
| Замена фильтрующего элемента гидросистемы                                                                                                                                                                                             |                       | +    | +    | +     |
| Замена масла в корпусе редуктора поворота платформы                                                                                                                                                                                   |                       | +    | +    | +     |
| Долив масла в картере демпфера                                                                                                                                                                                                        |                       | +    | +    | +     |
| Замена элемента дополнительного сапуна в гидробаке                                                                                                                                                                                    |                       | +    | +    | +     |
| Замена масла в картере конечной передачи                                                                                                                                                                                              |                       | +    |      | +     |
| Очистка сетчатого фильтра гидробака ( при необходимости заменить)                                                                                                                                                                     |                       | +    |      | +     |
| Замена форсунки в сборе                                                                                                                                                                                                               |                       |      |      | +     |
| Замена хомутов топлипровода высокого давления                                                                                                                                                                                         |                       |      |      | +     |

Были определены средние рыночные стоимости запасных частей и расходных материалов, что позволило создать норму затрат на ТО и ТР экскаваторов для каждого диапазона планируемой наработки (рис. 3).

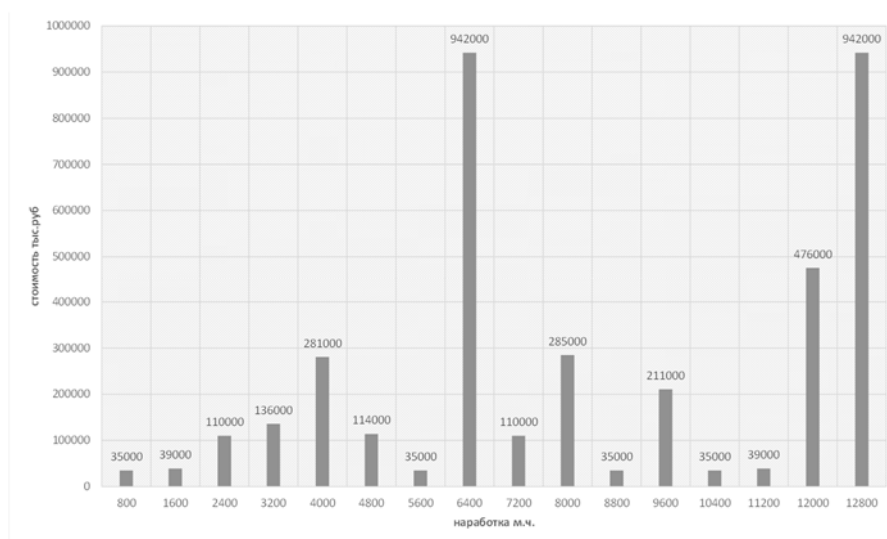


Рис. 3. Норма затрат на ТО и Р экскаватора Komatsu PC400 с учетом наработки

Резкие «скачки» на гистограмме соответствуют отказу какого-либо элемента либо плановой замене.

При соотношении расчетной наработки с нормой запасных частей были определены потенциальные годовые затраты на ТО и Р экскаваторов, которые сравнивались с плановыми расходами, полученные на основе прошлых периодов (рис. 4).

Заметно, что, вследствие увеличения интенсивности эксплуатации в текущем году, плановые затраты существенно занижены для 3,4,5 экскаватора. Неточное планирование может повлечь перебои в поставке запасных частей и увеличение сроков работ на трубопроводе или задействованию резервной техники.

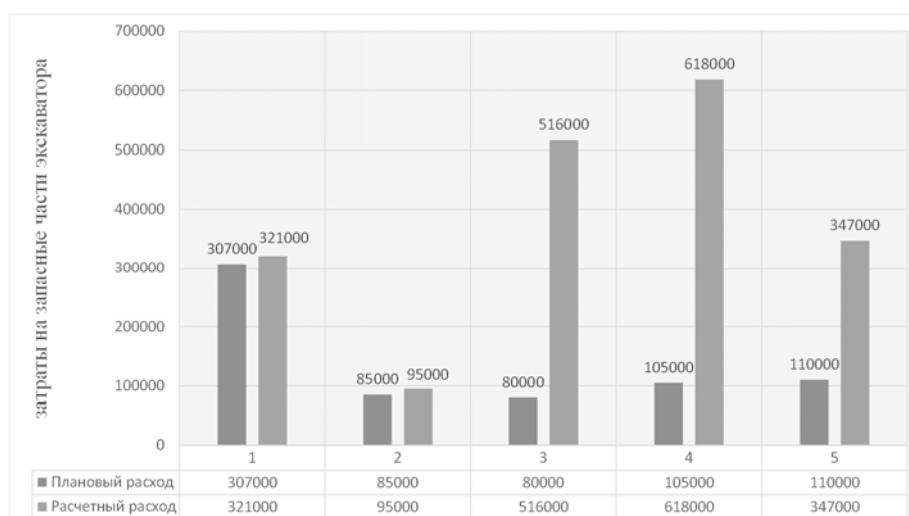


Рис. 4. Сравнение затрат на запасные части для экскаваторов, полученных по методу планирования по прошлым периодам и по предлагаемому методу

Вместе с использованием предлагаемой методики планирования по фактической наработке эффект будет иметь внедрение системы менеджмента качества, основанной на стандартах ISO 9000 [3]. Путем накопления статистики, создания форм сбора и обработки информации предприятие сможет самостоятельно оптимизировать процессы эксплуатации техники.

#### Список литературы

1. Карнаухов, Н.Н., Мерданов, Ш.М., Шефер, В.В., Иванов А.А. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин (Строительные машины). — Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. 456 с.
2. Бауэр, В.И., Мухортов, А.А., Козин, Е.С., Базанов, А.В., Немков М.В. Транспортно-технологический сервис процессов сооружения и ремонта линейной части магистральных трубопроводов. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. — 258 с.
3. ГОСТ ISO 9000-2011 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

УДК 656.13

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО МАРОЧНОГО СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ АО «ТРАНСНЕФТЬ-СИБИРЬ»**

*В.И. Бауэр, Е.С. Козин, А.В. Базанов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Так как ремонты трубопровода выполняются с помощью специальной техники, то работоспособность и надежность трубопровода напрямую связана с работоспособностью техники, неисправности которой могут вызвать остановку проводимых работ, потерю времени и значительных денежных средств.

Большую долю работ на нефтепроводе составляют грузоподъемные работы, выполняемые, как правило, трубоукладчиками.

Несмотря на то, что трубоукладчики рассчитаны на длительный срок службы и могут отвечать требованиям надежности и безотказности в течение многих лет, состояние парка подъёмно-транспортной техники является проблемным. Большая часть машин эксплуатируется за установленным сроком службы, что приводит к длительным простоям в техническом обслуживании и ремонте, снижению экологичности, увеличению эксплуатационных затрат. Возникает необходимость обновлять парк машин. Сегодня рынок насыщен множеством моделей аналогичных трубоукладчиков отечественного и зарубежного производства. Перед организациями, эксплуатирующими подобного рода технику, часто возникает проблема выбо-

ра марки машин, поскольку решение о приобретении разномарочного парка без должного обоснования нередко оказывается неэффективным.

Проведенный анализ теоретических исследований, посвященных данной проблеме [1,2,3], позволил выявить ряд методик, в одной из которых основным параметром сравнения моделей в ней является интегральный показатель качества, позволяющим оценить совокупность различных показателей [3]. Было предложено использовать подобный подход для выбора рациональной модели трубоукладчиков для выполнения ремонтных работ на нефтепроводе в условиях Западной Сибири.

На первом этапе сравнения был сформирован исходный перечень моделей трубоукладчиков, представленных в Российской Федерации, который был разбит на отечественные и импортные. Внутри каждой группы произвели дифференцирование моделей на 3 подгруппы лёгкой, средней и тяжёлой грузоподъёмности (табл. 1).

Таблица 1

Рассматриваемые модели трубоукладчиков

|               | Наименование моделей трубоукладчиков                                                           |                                                                                                   |                                                             |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|               | Лёгкой категории грузоподъёмности                                                              | Средней категории грузоподъёмности                                                                | Тяжёлой категории грузоподъёмности                          |
| Отечественные | ТГ-61<br>ОАО "Газстроймаш"<br>ТР 12.20.01<br>ОАО "ЧТЗ-Уралтрак"<br>ТГ-122<br>ОАО "Промтрактор" | ТР 20.22.01<br>ОАО "ЧТЗ-Уралтрак"<br>ТГ-222Я<br>ОАО "Промтрактор"<br>ТГ-302Я<br>ОАО "Промтрактор" | ТГ-503Я<br>ОАО "Промтрактор"<br>ТГ-511<br>ОАО "Промтрактор" |
| Импортные     | SB-30M EXTRA Dressta<br>PL61 Caterpillar                                                       | D85C-21 Komatsu<br>D155C-1 Komatsu<br>SB60 Dressta<br>572R2 Caterpillar                           | D355C-3 Komatsu<br>SB-85 Dressta<br>PL83 Caterpillar        |

Для оценки качества трубоукладчиков с помощью интегрального коэффициента качества принята номенклатура из 16 технико-экономических показателей (приведены в таблице 3: 1-12 – «прямые» показатели, 13-16 – «обратные»). Калькуляцию затрат производили согласно рекомендациям, приведенным в [4].

Для каждой группы был определен трубоукладчик с наибольшим значением интегрального коэффициента качества  $K_k$ , после чего из общего списка было выделено 6 моделей, представляющие для исследования наибольший интерес. А именно среди отечественных: ТР 12.20.01 ОАО "ЧТЗ-Уралтрак", ТГ-302Я ОАО "Промтрактор", ТГ-503Я ОАО "Промтрактор"; среди импортных: SB-30M EXTRA Dressta, SB60 Dressta, PL83 Caterpillar.

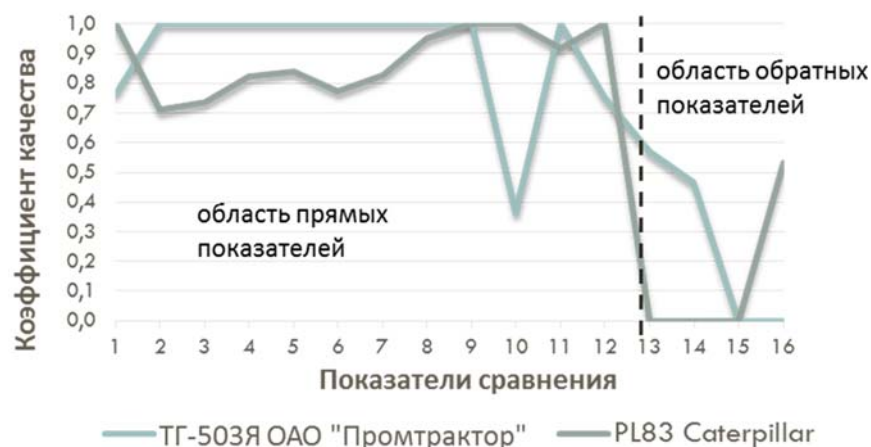


Рис. 1. Профиль качества для трубоукладчиков тяжёлой категории (свыше 30 тонн)

Второй этап заключается в сравнении интегральных показателей качества отечественных и импортных моделей соответствующих групп грузоподъемности.

Для примера результаты расчёта показателей качества для трубоукладчиков тяжёлой категории грузоподъёмности приведены в таблице 2.

Таблица 2

Определение интегрального показателя качества для трубоукладчиков тяжёлой категории грузоподъёмности

|    | Параметры                          | ТГ -503Я ОАО "Промтрактор" | PL83 Caterpillar | ТГ -503Я ОАО "Промтрактор" | PL83 Caterpillar |
|----|------------------------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| 1  | номинальная грузоподъемность, т    | 50,00                      | 65,40            | 0,76                       | 1,00             |
| 2  | момент устойчивости, тс*м          | 125,00                     | 88,50            | 1,00                       | 0,71             |
| 3  | мощность двигателя, кВт            | 353,00                     | 259,00           | 1,00                       | 0,73             |
| 4  | длина стрелы, м                    | 8,90                       | 7,30             | 1,00                       | 0,82             |
| 5  | вылет стрелы тах, м                | 8,70                       | 7,30             | 1,00                       | 0,84             |
| 6  | высота подъема крюка тах, м        | 8,04                       | 6,20             | 1,00                       | 0,77             |
| 7  | ширина гусениц, мм                 | 860,00                     | 710,00           | 1,00                       | 0,83             |
| 8  | диаметр каната, мм                 | 20,00                      | 19,00            | 1,00                       | 0,95             |
| 9  | тах диаметр укладываемой трубы, мм | 1420,00                    | 1420,00          | 1,00                       | 1,00             |
| 10 | скорость подъема груза, м/мин      | 8,00                       | 22,00            | 0,36                       | 1,00             |
| 11 | скорость опускания груза, м/мин    | 24,00                      | 22,00            | 1,00                       | 0,92             |
| 12 | гарантия, мото-час                 | 1500,00                    | 2000,00          | 0,75                       | 1,00             |

Продолжение таблицы 2

|    |                                          |          |          |      |      |
|----|------------------------------------------|----------|----------|------|------|
| 13 | стоимость 1 единицы техники, тыс. руб.   | 23000,00 | 53200,00 | 0,57 | 0,00 |
| 14 | себестоимость работы, руб./маш.-ч        | 8075,00  | 15064,00 | 0,46 | 0,00 |
| 15 | расход топлива, г/кВт*ч                  | 220,00   | 218,00   | 0,00 | 0,01 |
| 16 | масса трубоукладчика, т                  | 69,00    | 32,30    | 0,00 | 0,53 |
|    | Интегральный коэффициент качества, $K_k$ |          |          | 0,77 | 0,69 |

Ни основании расчётных величин, найденных по формулам из [3] «для прямых» и «обратных» показателей, строится профиль качества для двух сравниваемых моделей трубоукладчиков. На горизонтальной оси указываются порядковые номера параметров (показателей), а над ними - расчётные значения показателей соответственно. Чем качественнее значение показателя, тем выше оно располагается на оценочном поле. Профили качества моделей трубоукладчиков тяжелой грузоподъемности представлены на рисунке 1.

Сравнительно большое значение коэффициента качества, равное 0,77, говорит что среди трубоукладчиков лёгкой категории рекомендуется выбирать трубоукладчик TP 12.20.01. Самым заметным преимуществом данной модели является его относительно небольшая стоимость – он в 3 раза дешевле трубоукладчика SB-30M EXTRA Dressta.

Сравнивая по показателям трубоукладчики ТГ-302Я ОАО "Промтрактор" и SB60 Dressta, можно прийти к выводу, что по многим из них они мало отличаются друг от друга, и интегральные коэффициенты практически равны. Но техника отечественного производства отстает от импортного аналога по таким показателям как грузоподъемность, ширина гусениц, скорость подъема груза. В итоге для эксплуатации в данной категории рекомендуется выбирать трубоукладчик SB60 Dressta, интегральный коэффициент качества которого равен 0,74. При сравнении трубоукладчиков ТГ-503Я ОАО "Промтрактор" и PL83 Caterpillar по их показателям качества (рисунок 1) видно, что отечественная модель превосходит импортную по многим параметрам. Поэтому для эксплуатации трубоукладчиков данной категории грузоподъемности рекомендуется ТГ-503Я ОАО "Промтрактор". Интегральный коэффициент качества данной модели равен 0,77.

Сравнение интегральных показателей качества рассматриваемых моделей техники представлено на рис. 2.

Таким образом, была разработана методика определения рационального марочного состава для автотранспортного подразделения АО «Транснефть-Сибирь».

Укрупненно основные этапы созданной методики изложены ниже.

1. По каталогам производителей выбирают альтернативные ТТМ с соответствующими техническими данными, отвечающими требованиям,

которые покупатель (автотранспортное подразделение) определяет само в зависимости от преследуемых целей.

2. При необходимости выбранные модели подразделяют на группы.
3. Определяют интегральные коэффициенты качества для каждой модели.
4. Для наглядности строят профили качества.
5. Сравнивают коэффициенты качества машин, и выбирают ту, у которой коэффициент качества больше, чем у остальных оцениваемых моделей.

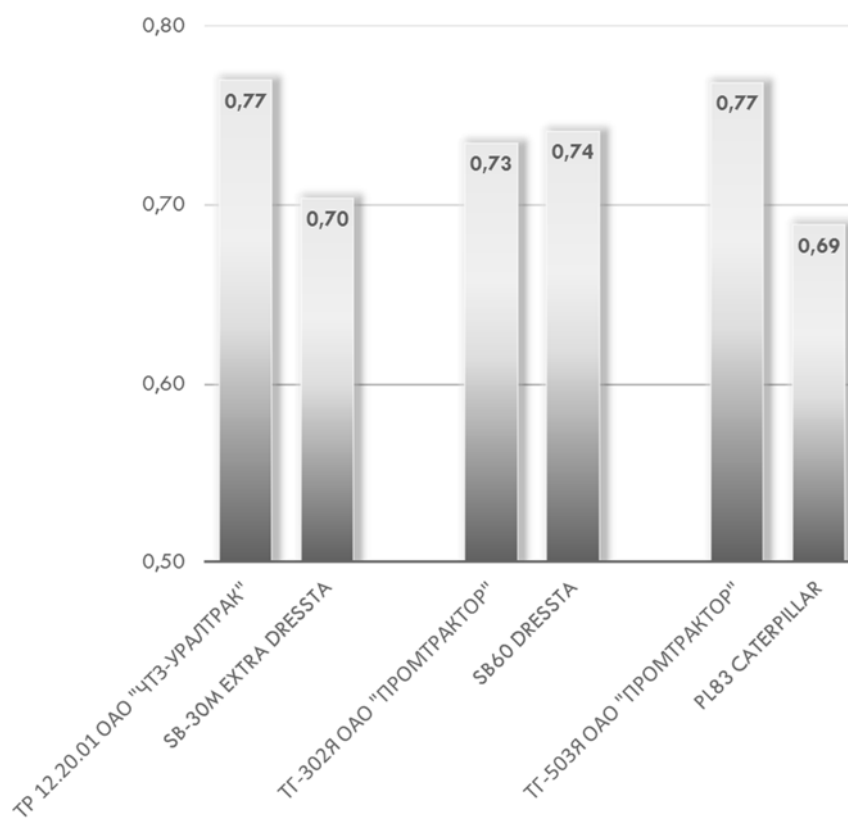


Рис. 2. Интегральный коэффициент качества K для импортных и отечественных трубоукладчиков различных категорий

Данная методика может быть использована как при формировании парка машин, так и при его пополнении или обновлении. При этом метод дает не только способ выявления наиболее предпочтительного решения, но и позволяет количественно выразить степень предпочтительности посредством ранжирования альтернативных решений, что способствует адекватному выявлению предпочтений лица, принимающего решение.

#### Список литературы

1. Любимов, И.И. Методика формирования рациональной структуры подвижного состава автотранспортного предприятия : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. - Оренбург, 2007. - 130 с.



2. Мигачев, В.А. Повышение эффективности использования грузовых автомобилей на основе выбора наиболее рационального парка подвижного состава : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. - Пенза, Ульяновск, 2012. - 117 с.
3. Нуретдинов, Д. И. Методика выбора типа подвижного состава для автотранспортного предприятия по технико-экономическим критериям : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. - Набережные Челны, 2004. - 147 с.
4. МДС 81-35.2004 Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации (с Изменениями от 16.06.2014)

УДК 656.11

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

*Е.Ф. Бояркина*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Хотелось бы отметить, что проведено большое число исследований в области изучения подвижности населения; и, хотя, результаты этих исследований не позволяют отделить количество легковых автомобилей на УДС города от числа легковых автомобилей, зарегистрированных в городе, ими не стоит пренебрегать для полноты анализа методов учета интенсивности эксплуатации (частоты пользования) легковых автомобилей.

Для примера можно привести работы, проводимые в ГДР Тине Штановником (Stanovnik Tine) [1] и Московском автомобильно-дорожном институте (МАДИ) [2].

Немецкими исследователями была получена зависимость подвижности населения от величины города (с числом жителей свыше 10 тыс. чел.), найдены уравнения регрессии для определения среднего числа поездок одного жителя в день на средствах общественного транспорта (форм 1) и на индивидуальном транспорте (форм. 2):

$$y = a \cdot \ln x + b, \quad (1)$$

$$y = a \cdot e^{-cx} + b, \quad (2)$$

где  $y$  — подвижность населения;

$x$  — число жителей города;

$a, b, c$  — коэффициенты.

В МАДИ проводилось исследование интенсивности использования индивидуальных автомобилей, принадлежащих населению, в результате которого была получена модель, определяющая частоту трудовых поездок в неделю (форм 3):

$$y = 0,046 \cdot X_3 - 0,045 \cdot X_5 + 1,259 \cdot X_6 - 0,032 \cdot X_7 + \\ + 0,149 \cdot X_9 + 0,126 \cdot X_{11} + 0,106 \cdot X_{12} \quad , \quad (3)$$

где  $X_3$  – экономия времени от использования личного автомобиля по сравнению с общественным транспортом при совершении трудовой поездки;

$X_5$  – затраты времени на подход к месту постоянного хранения автомобиля;

$X_6$  – соотношение затрат времени на подход к месту постоянного хранения автомобиля и на совершение трудовой поездки на личном автомобиле;

$X_7$  – возраст владельца автомобиля;

$X_9$  – количество месяцев эксплуатации автомобиля в год;

$X_{11}$  – количество поездок в неделю на личном автомобиле в рабочее время по служебным делам;

$X_{12}$  – количество культурно-бытовых поездок в неделю на личном автомобиле.

Коробов С.А. [3] рассматривал структуру внутригородских перемещений населения, в частности долю перемещения населения городским общественным транспортом в общем балансе перемещений.

Математическая модель структуры перемещений городского населения выглядит следующим образом:

$$P_i = \int_0^{\infty} F_i(L) f(D) dD \quad , \quad (4)$$

где  $F_i(L)$  – функция распределения дальности перемещения;

$D$  – мода душевого дохода.

Также были получены границы выбора населением способа перемещения в зависимости от душевого дохода (рис. 1).

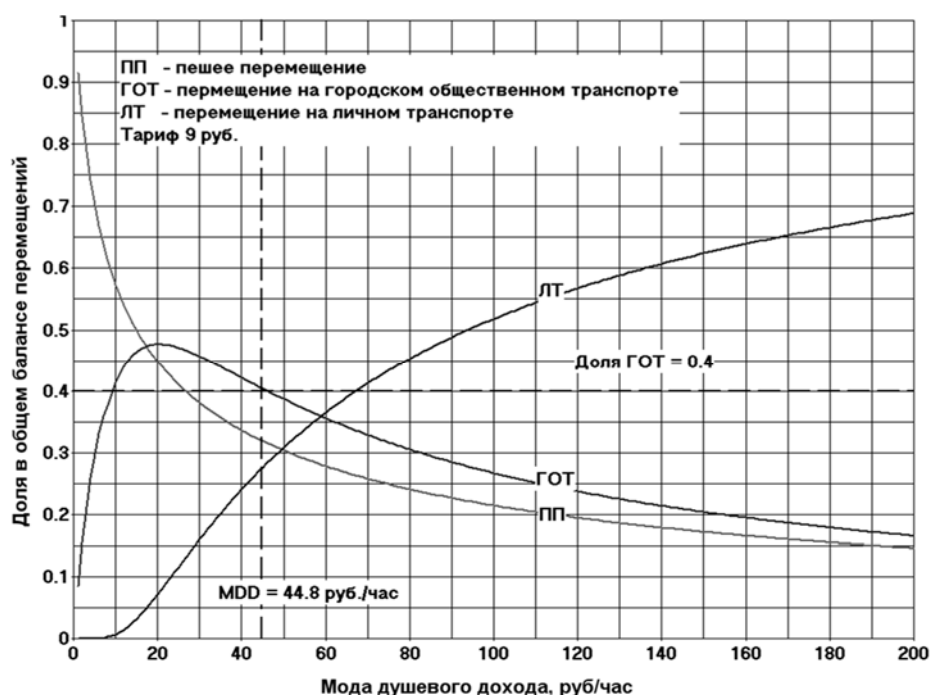


Рис. 1. Доля способа перемещения в зависимости от душевого дохода

## Список литературы

1. Stanovnik Tine. Automobile ownership in Yugoslavia // Transportation Research. Part A. - 1990. - № 2. - PP. 113 - 119.
2. Об интенсивности использования легковых автомобилей, принадлежащих населению / Артанова Л.И. // Труды Московского автомобильно-дорожного института. - 1978. - № 160. - С. 88-94.
3. Коробов С.А. Совершенствование пассажироперевозок на основе выбора рациональной структуры внутригородских перемещений: Дис. ... канд. техн. наук: Тюмень, 2009. - 133 с.

УДК 656.13/73.31.41

## ВЗАИМОСВЯЗЬ СИСТЕМ МИКРОКЛИМАТА И ЭРГНОМИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ РАБОЧЕГО МЕСТА ВОДИТЕЛЯ

*Л.Н. Буракова*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

При эксплуатации легковых автомобилей в летний период существенно ухудшается уровень теплового комфорта в салоне, основным показателем которого является температура окружающего воздуха. Несоответствие ее уровня оптимальному, влияет на пассажиров и приводит к быстрой

утомляемости водителя, что отрицательно сказывается на безопасности дорожного движения[1].

Повышение или понижение температуры ухудшает самочувствие водителя и снижает его работоспособность. При высокой температуре нарушаются функции мышления, внимания, памяти, увеличивается время и уменьшается точность сенсомоторных реакций. В результате водитель несвоевременно замечает изменение дорожной обстановки, запаздывает с выполнением необходимых управляющих действий, допускает ошибки, быстрее утомляется.

Для создания комфортных условий водителю и выполнения требований, представленных в Межотраслевых правилах по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта, [2] становится актуальным вопрос о создании благоприятного микроклимата в салоне автомобиля.

В летний период времени года возрастает количество солнечных дней, увеличивается угловая высота солнца, что влечет за собой увеличение солнечной радиации, повышение эффективной температуры окружающего воздуха, что влечет за собой повышение температуры воздуха в салоне автомобиля и ухудшение микроклимата.

Годовой ход солнечной радиации в г. Тюмени составляет амплитуду с 0,57кВтч/м<sup>2</sup> в январе до 6,0 кВтч/м<sup>2</sup> в июне и июле месяце.

Микроклимат — климатические условия, созданные в ограниченном пространстве искусственно или обусловленные природными особенностями. Под стандартными условиями принимается: температура окружающего воздуха 298К (25°C), барометрическое давление 100 кПа (750мм.рт.ст), относительная влажность воздуха 36%, скорость ветра — безветрие, штиль, при их увеличении или уменьшении того или иного параметра происходит изменение психофизического состояния водителя.

В работе Хохрякова В.П. определение комфортного микроклимата подразумевает как микроклиматические условия, с помощью которых происходит обмен водителя с окружающей средой при минимальном напряжении системы терморегуляции тела. Температурные характеристики комфортного микроклимата в салоне автомобиля представлены в табл. 1.

Таблица 1

Оптимальные температуры микроклимата в салоне автомобиля

| Оптимальная температура в салоне, °С | Зона контроля параметра на уровне частей тела человека | Температура $t_n$ наружного воздуха, °С |          |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
|                                      |                                                        | <+10                                    | >+10     |
| Воздуха                              | Головы                                                 | +15 (+10)                               | +25(+28) |
|                                      | Поясницы                                               | +17(+12)                                | +26(+29) |
|                                      | Ног                                                    | +19(+13)                                | +28(+30) |

|                                    |          |          |          |
|------------------------------------|----------|----------|----------|
| Внутренних поверхностей ограждений | Головы   | +10(+5)  | +28(+33) |
|                                    | Поясницы | +15(+10) | +33(+35) |

Для создания оптимального микроклимата в салоне автомобиля используют три системы: система отопления, вентиляции и кондиционирования.

Основной задачей системы отопления является создание и поддержание заданного теплового режима в салоне автомобиля. При эксплуатации различных систем отопления основными зонами для обогрева являются: голова, пояс и ноги водителя [3].

Область работы вентиляции это создание достаточного воздухообмена в зоне водителя и пассажиров. Согласно законам физики и аэродинамики можно определить, что на движение потока воздуха в замкнутом пространстве влияет температура окружающих поверхностей, которая зависит от температуры тел. Согласно законам теплообмена, тела имеющие более высокую температуру нагревают соприкасающийся с ними воздух, который поднимается вверх, а у холодных охлаждается и опускается вниз. На основании этого образуются тепловые потоки, которые обеспечивают естественную вентиляцию [4].

Согласно тенденций, развития автомобильного транспорта для создания и поддержания микроклимата в автомобиле используют системы кондиционирования воздуха, которые решают несколько задач в зоне работы водителя, это удаление скопившейся влаги, мелких частиц примесей и поддержание оптимальной температуры [5].

Дополнительное охлаждение воздуха салона необходимо при температуре внешней среды выше 30°C и интенсивном солнечном излучении. В этом случае, температура воздуха в салоне, во избежание опасности переохлаждения, не должна быть ниже температуры внешней среды более чем на 10°, причем температура холодного воздуха, поступающего из теплообменника, не должна быть ниже 5°C. Целесообразно охлаждать только часть свежего воздуха (примерно 30%), остальное количество поступающего воздуха следует использовать для освежения воздуха в салоне, тогда возрастает эффективность использования воздуха и уменьшаются конструктивные затраты на кондиционер [6]. Конечно, окна автомобиля (с тонированными стеклами) должны оставаться закрытыми. Тем не менее, для охлаждения воздуха потребляется большая мощность, поскольку нужно не только охладить воздух, но и компенсировать нагрев его от солнечного излучения и внутренний «подогрев» салона. По данным Фиала для среднего легкового автомобиля

этот нагрев составляет примерно 5233,5 Вт. Большое преимущество дополнительного охлаждения заключается в том, что с ним уменьшается относительная влажность воздуха в салоне. Она уменьшается примерно на 35% вследствие охлаждения конденсационной влаги в теплообменнике, что при высокой температуре внешней среды и высокой влажности воспринимается особенно приятно.

Поэтому, если невозможно получить приемлемую температуру в салоне посредством естественной вентиляции, то необходимо предусмотреть кондиционирование воздуха, поступающего в салон. С помощью такой системы можно регулировать не только температурный режим в салоне, но и влажность воздуха.[7]

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что основной задачей при создании комфортных условий в салоне автомобиля являются достижения оптимальных параметров значений температуры, относительной влажности и движения воздуха в зависимости от физиологических особенностей организма водителя.

### Список литературы

1. Анисимов И.А., Буракова Л.Н., Буторин В.Ф. Результаты эксплуатационных испытаний работы электрических систем автомобиля и их влияние на расход топлива // Научно-технический вестник Поволжья. № 3 2013 - Казань. - С. 68-71.
2. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта (напольный безрельсовый колесный транспорт) ПОТ РМ-008-99 (утв. Постановлением Минтруда РФ от 07.07.99 N 18).
3. Буракова Л.Н., Анисимов И.А. Влияние различных факторов на расход топлива автомобиля в летний период при работе на режиме холостого хода // Сборник: Нефть и газ Западной Сибири ответственный редактор О. А. Новоселов. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института. – Тюмень, 2013. С. 59-65.
4. Буракова Л.Н., Черменина Е.А. Мощность двигателя как один из факторов, влияющий на расход топлива при работе с дополнительной нагрузкой на холостом ходу // Сборник: Проблемы функционирования систем транспорта Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. ответственный редактор: В. И. Бауэр. – Тюмень, 2012. С. 100-103.
5. Cool-Colored Cars to Reduce Air-Conditioning Energy Use and Reduce CO2 Emission - Lawrence Berkeley National Laboratory One Cyclotron Road Berkeley.2011. 102 pp
6. Буракова Л.Н., Черменина Е.А., Анисимов И.А. Температура воздуха в салоне автомобиля и её влияние на безопасность дорожного движения // Организация и безопасность дорожного движения материалы VI Всероссийской научно-практической конференции ответственный редактор: В.И Бауэр. – Тюмень 2013. С. 24-28.
7. Буракова Л.Н. Влияние работы вспомогательного оборудования автомобиля на расход топлива на холостом ходу. В сборнике: Новые технологии - нефтегазовому региону Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ. Тюмень, 2013. С. 192-194.

## **ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПЕРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

*О.Д. Буракова, И.А. Анисимов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В настоящее время для энергоснабжения городской и транспортной инфраструктуры (рекламные щиты, уличное освещение, светофоры, предупредительные знаки о проведении дорожных работ) применяют альтернативные источники энергии, одним из основных является фотоэлектрические преобразователи (солнечные батареи). Эффективность работы данного типа источника электроэнергии подвержена большому количеству факторов:

- географические координаты места установки оборудования;
- затемнение ФЭП;
- количество осадков (снег);
- температура воздуха;
- степень загрязненности (пыль, дождь) [1].

Целью данного исследования является повышение эффективности энергоснабжения системы «Сигнального освещения пешеходного перехода» [2] на ФЭП в конкретном населенном пункте с помощью «Активной солнечной панели на основе гелио контроля».

Объект исследования – это процесс изменения количества вырабатываемой электроэнергии ФЭП в зависимости от внешних факторов.

Предмет исследования – этот процесс для систем сигнального освещения пешеходных переходов [3].

Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи:

1. Выявить зависимость влияния географических координат места установки оборудования, на среднемесячную выработку электроэнергии ФЭП.
2. Установить возможность установки оборудования на ФЭП в зоне пешеходного перехода, с учетом его затененности.
3. Проработать возможную вероятность влияния осадков на эффективность работы ФЭП.
4. Определить возможность эксплуатации солнечной панели при низких значениях температуры воздуха.

Для изучения влияния внешних факторов на работу фотоэлектрических преобразователей были проведены эксперименты.

Основу эксперимента составляет измерение постоянного напряжения и последующий расчет постоянного тока, в условиях:

- положительных температур;
- по направлению к северо-западу;

- под углами 90°, 60°, 45°;
- время измерений 15:40;
- дата проведения эксперимента 21.07.2015 – 24.07.2015.

Таблица 1

Результаты эксперимента

| Дата     | Время | Погодные условия                  | Температура воздуха (°C) | Угол наклона (°) | Постоянный ток (А) | Постоянное напряжение (В) |
|----------|-------|-----------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------|---------------------------|
| 21.07.15 | 15:40 | переменная облачность (36 – 75 %) | 24                       | 90               | 0,67               | 20.5                      |
|          |       |                                   |                          | 60               | 0,67               | 20.5                      |
|          |       |                                   |                          | 45               | 0,66               | 20.3                      |
| 22.07.15 | 15:40 | ясно (0 – 35 %)                   | 28                       | 90               | 0,67               | 20.7                      |
|          |       |                                   |                          | 60               | 0,70               | 21.4                      |
|          |       |                                   |                          | 45               | 0,69               | 21.3                      |
| 23.07.15 | 15:40 | пасмурно (76 – 90 %)              | 21                       | 90               | 0,63               | 19.3                      |
|          |       |                                   |                          | 60               | 0,65               | 19.9                      |
|          |       |                                   |                          | 45               | 0,63               | 19.5                      |
| 24.07.15 | 15:40 | ясно (0 – 35 %)                   | 25                       | 90               | 0,67               | 20.7                      |
|          |       |                                   |                          | 60               | 0,70               | 21.4                      |
|          |       |                                   |                          | 45               | 0,70               | 21.4                      |

На основании проведенных экспериментов, были получены результаты зависимости выработки постоянного тока и напряжения от температуры окружающего воздуха, угла наклона и погодных условий.

На первом этапе проведения эксперимента были получены результаты при разных показателях угла наклона в одних и тех же условиях. На основании чего на рис. 1 представлена данная зависимость, которая показывает, что для получения наибольшего значения показателя постоянного тока оптимальный угол наклона составляет 60°.

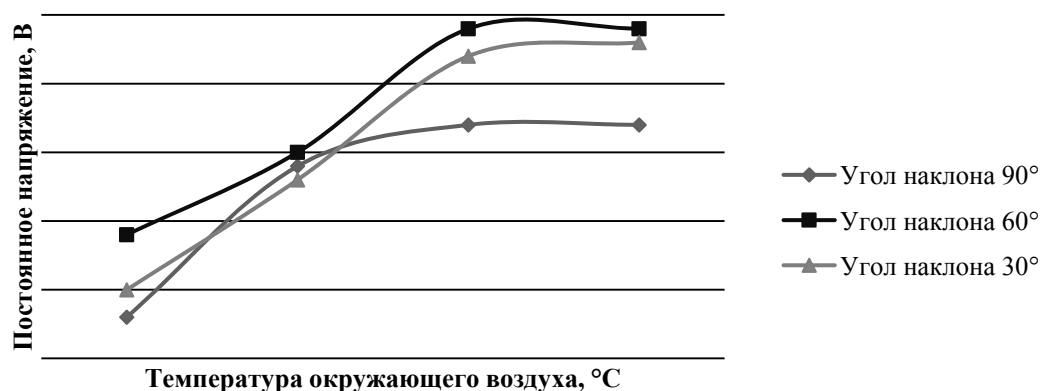


Рис. 1. Зависимость выработки постоянного напряжения от угла наклона



На втором этапе проведения эксперимента были получены результаты при постоянном значении угла наклона ФЭП  $60^\circ$  (на основании первого этапа эксперимента) в разных погодных условиях. Таким образом, из рис. 2 можно сделать вывод, что фотоэлектрический преобразователь эффективно работает только при ясной погоде.

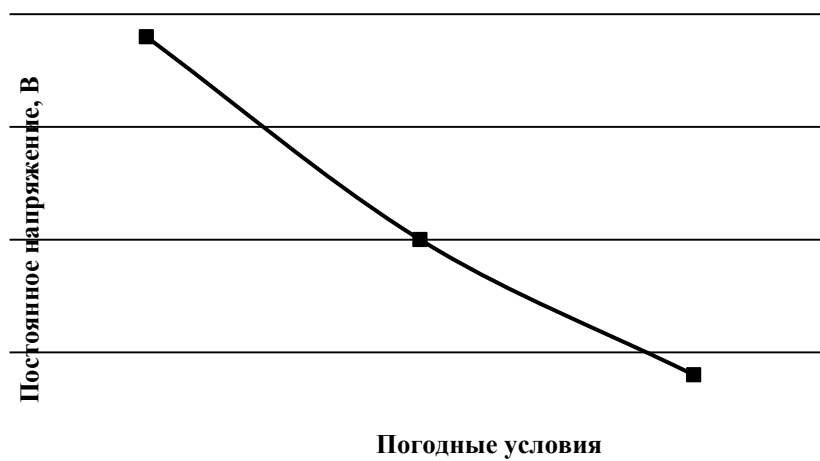


Рис. 2. Зависимость выработки постоянного напряжения от погодных условий

Результаты эксперимента показали, что эффективность работы фотоэлектрического преобразователя в условиях положительных температур зависит от угла наклона солнечной панели. Также в пасмурную погоду количество вырабатываемой электроэнергии снижается в 1,5 раза.

### Список литературы

1. Буракова О. Д., Анисимов И. А. Влияние внешних факторов на работу солнечных фотоэлектрических преобразователей в системе «Сигнального освещения пешеходного перехода» [Текст]// Организация и безопасность дорожного движения: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, - 2015.- 308 с.
2. Устройство освещения пешеходного перехода И. А. Анисимов патент на полезную модель RU 101048 02.04.
3. Буракова О. Д., Анисимов И. А. Факторы, влияющие на эффективность работы солнечных батарей в «системе сигнального освещения пешеходного перехода» [Текст]// Сборник материалов всероссийской научно - практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы функционирования систем транспорта», Тюмень: ТюмГНГУ, - 2014. - т. 1. – 356с.
4. Анисимов И. А. Применение автономных интеллектуальных сигнальных систем для снижения аварийности в зоне нерегулируемых пешеходных переходов [Текст]//Организация и безопасность дорожного движения: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, - 2014.- 193с.

## **СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ТР В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ МНОГОФАЗОВОСТИ ТР**

*А.И. Егоров*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Для установления закономерностей формирования оптимальных параметров зоны ТР в зависимости от неравномерного поступления автомобилей необходимо использовать системный подход [1]. Данный метод позволит детально оценить значения каждого элемента, входящего в состав системы, при этом, связи между факторами образуют целостность структуры системы.

Группировка факторов и параметров по уровням показывает иерархию взаимодействия элементов системы. Объединяя факторы по их функциональной значимости в системы выходим на уровень оптимизации параметров зоны ТР.

Общая схема определения оптимальных параметров зоны ТО и Р в зависимости от затрат на содержание зоны ТР, от простоя автомобилей можно представить в следующем виде (рис.1.).

Система разбита на пять уровне и в качестве входа рассматривается время  $T$ . Уровень 1 содержит перечень факторов, влияющих на характеристики входящего потока и процесса обслуживания:  $q$  –грузоподъемность автомобилей;  $l$  –интенсивность эксплуатации автомобилей;  $D_{ос}$  –доля дней с осадками;  $t_{в}$  –температура воздуха;  $A_{сс}$  –среднесписочное количество автомобилей на предприятии;  $L$  –пробег автомобиля с начала эксплуатации;  $K$  –число технологически совместимых групп;  $D$  –технология ТО и ТР применяемая на предприятии;  $T_{см}$  –рабочая смена;  $O_p$  –организационно-управленческая политика предприятия;  $T_{отк}$  –тип отказа автомобиля.

Уровень 2 представляет собой параметры процесса восстановления, к ним относятся:  $N_{пр}$  –число рабочих на посту;  $T_{тр}$  –трудоемкость ремонтных воздействий на единицы подвижного состава;  $T_d$  –длительность ремонтного воздействия;  $w$  –параметр потока отказов;  $\lambda$  –интенсивность потока отказов.

К параметрам зоны ТР (уровень 3) можно отнести:  $N_{пр}$  –число постов;  $S_{зон}$  –площадь зоны ТР;  $f_a$  –площадь автомобиля в плане;  $T_{ож}$  –среднее время простоя автомобиля в ожидании ремонта;  $T_{зон}$  –время простоя автомобиля в зоне ТР.

Уровень 4 – это уровень затрат:  $C_{авт}$  – стоимость одного машино-часа;  $Z_{зон}$  – затраты на содержание зоны ТР;  $Z_{прост}$  – затраты от простоя автомобилей в ожидании ремонта.

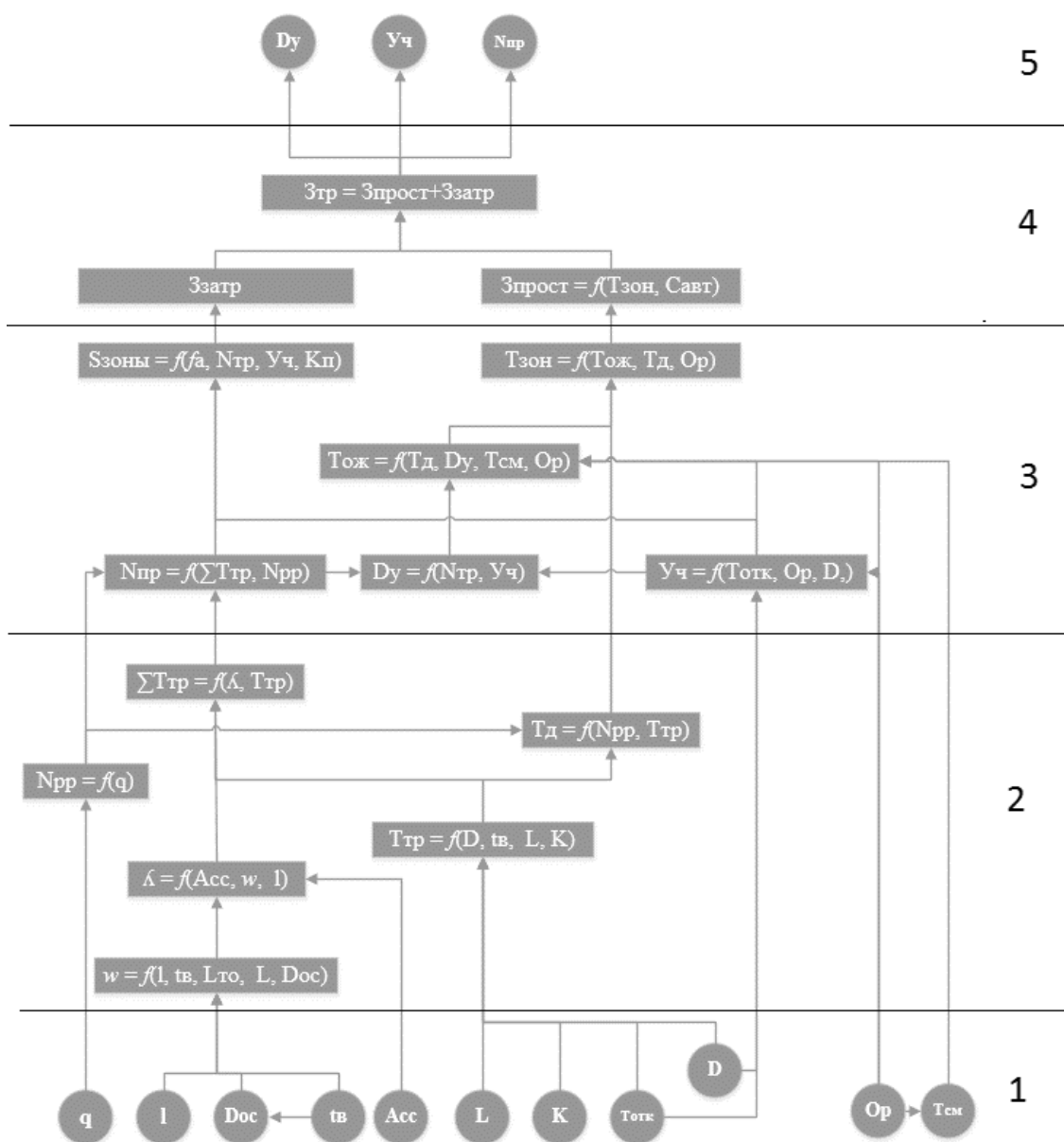


Рис. 1. Схема системы формирования оптимальных параметров зоны ТР:  
1 – уровень факторов; 2 – уровень параметров восстановления; 3 – уровень параметров  
зоны ТР; 4 – уровень затрат; 5 – уровень оптимизации

5 уровень является уровнем оптимизации, там осуществляется поиск оптимального количества постов, участков и доли участковых работ.

Для дальнейшего изучения данной системы необходимо определить закономерности взаимодействия элементов системы.

### Список литературы

1. Системный подход. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1985. – с. 1209.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПО БОРЬБЕ С НАРУШЕНИЯМИ ПРАВИЛ ПАРКОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ**

*А.Ю. Животовский*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В настоящее время Тюмень является быстро развивающимся городом со значительным ежегодным приростом автомобильного транспорта и, как все густонаселенные города «страдает» от заторов и низкой скорости транспортного передвижения. Причины этого кроются в несоответствии прироста транспорта пропускной способности городской улично-дорожной сети. Центральная часть города перегружена коммерческими и административными зданиями, а также большим количеством объектов социального значения – образовательными, медицинскими учреждениями, около которых, как правило, отсутствуют или явно не достают места для стоянок транспорта [1]. Это провоцирует водителей на нарушения правил парковки [2], – что, в свою очередь, влияет на снижение и без того низкой пропускной способности дорог. Проблема с каждым годом становится все острее и настойчиво требует решения.

На сегодняшний день неправильно припаркованные автомобили эвакуируются сотрудниками ГИБДД совместно с уполномоченной бригадой эвакуации на специализированную штрафную площадку временного задержания автомобилей и мототранспорта или выписывается штраф на месте. Но, в связи с вышеупомянутыми проблемами городской улично-дорожной сети, количество нарушений значительно превышает физические возможности бригад эвакуации – они просто не успевают выполнять свою работу.

Предлагается совместно с эвакуаторами обеспечить работу систем фиксации нарушений правил парковки, в которую будет добавлена система автоматической отправки смс-сообщения владельцу транспортного средства о нарушении. Эта же информация будет отправляться бригаде на автомобиле-эвакуаторе, которая с интервалом в 5-10 мин по тому же участку дороги будет следовать и выполнять свою работу по отношению к тем транспортным средствам, владельцы которых нарушили правила парковки и не устранили их.

По нашему мнению, многие автовладельцы, получившие смс-сообщения о возможной эвакуации транспортного средства, готовы будут принять незамедлительные меры для своевременного устранения нарушений правил парковки. Владельцы транспортных средств будут заинтересованы в правильном заполнении данных своих мобильных телефонов при

регистрации и перерегистрации транспортных средств в ГИБДД и своевременной актуализации этих данных. Эту функцию предлагается ввести в автоматическом режиме на сайте ГИБДД [3] (рис. 1).

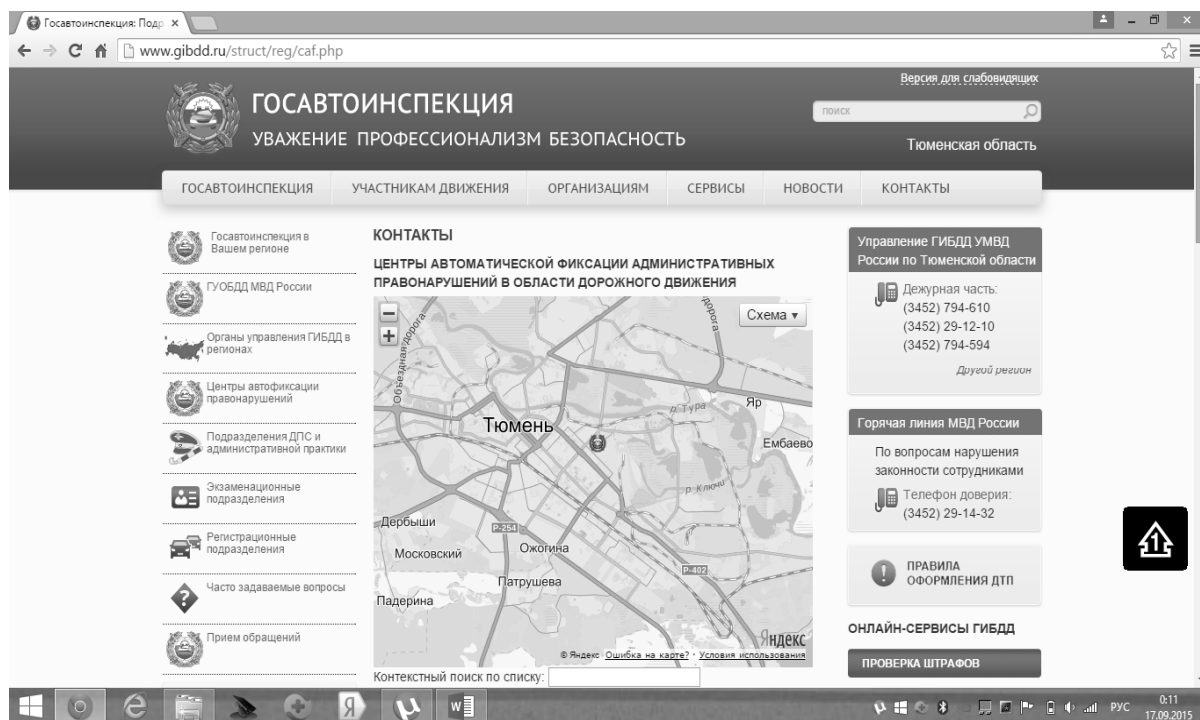


Рис. 1. Местоположение данных на сайте ГИБДД

Таким образом, при внедрении предложенной системы работы позволит значительно повысить эффективность работы и обеспечить экономию время, как самих бригад эвакуации, так и самих автовладельцев. А также при быстром устранении нарушений правил парковки будет повышена пропускная способность улиц центра города, что позволит снизить вероятность и время заторов в городской улично-дорожной сети, повысить скорость транспортного сообщения, улучшить экологическую ситуацию по городу в целом.

### Список литературы

1. Эртман Ю.А., Эртман С.А. Результаты исследования влияния градостроительных решений на изменение параметров дорожного движения в городе Тюмени // Наука и бизнес: пути развития. – 2014. – № 8 (38). – С. 7-13.
2. Правила дорожного движения Российской Федерации 2015 [Текст]. – М.: Мир автотоник, 2015. - 64 с.
3. Официальный сайт ГИБДД Тюменской области [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <http://www.gibdd.ru/r/72/>.

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ГОРОДА ТЮМЕНИ

*Д.А. Захаров, А.Н. Чистяков*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Город Тюмень является ярким примером процесса субурбанизации, т.е. укрупнения существующих городов путем расширения территорий муниципальных образований и присоединения к городу небольших пригородных населенных пунктов.

Общая протяженность улично-дорожной сети (УДС) в Тюмени - 1100 км. На 1000 жителей в Тюмени приходится 1,57 км автомобильных дорог. В Москве этот показатель равен 0,31 км/1000 чел., в Берлине эта величина достигает почти 1,5 км, в Лондоне - 1,24 км, в Нью-Йорке - 0,96 км, в Токио - 0,56 км. Это говорит о развитости УДС в Тюмени. При этом жители Тюмени испытывают затруднение в передвижении по городу на личном и общественном транспорте. Одна из главных причин этого - недостаточная связность территорий.

Для решения данной проблемы в Тюмени идет интенсивное строительство объектов дорожно-транспортной инфраструктуры. Построены или находятся в стадии строительно-монтажных работ несколько крупных объектов: транспортные развязки на пересечении улиц Московский тракт и обход Тюмени, улиц Республики и 50 лет Октября, улиц Мельникайте и Широтная, улиц Первомайская и Запольная, путепровод и развязка через Транссиб по ул. Монтажников, мосты через р.Тура по ул. Челюскинцев и в районе Лесобаза.

Однако строительство новых объектов не всегда позволяет существенно улучшить дорожную ситуацию и может порождать новые проблемы. Это связано с ограниченной пропускной способностью участков УДС (особенно пересечения автодорог) расположенных на небольшом удалении от мостов, развязок и путепроводов.

Новые объекты инфраструктуры позволяют ТС в утреннее время быстрее переместиться с периферийных районов города (Калининского, Ленинского, Восточного, Заречной части Центрального административных округов) в центральную часть города, а вечером наоборот.

Например, после ввода в эксплуатацию моста-дублера через р. Тура по ул. Челюскинцев без изменения схемы организации дорожного движения транспортный затор в утреннее время с заречной части города перераспределяется в центральную часть. Результаты моделирования дорожного движения показывают, что в утреннее время в центре города произойдет ухудшение показателей (табл. 1), а в вечернее (табл. 2) – улучшение.

Таблица 1

Характеристики транспортных потоков после строительства моста-дублера  
по ул. Челюскинцев (вечер)

| Показатель                      | Значение          |                   | Изменение показателей, % |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
|                                 | без моста-дублера | с мостом-дублером |                          |
| Время задержки (ср.) - ИТ (сек) | 183               | 116               | -37%                     |
| Время задержки (ср.) - ОТ (сек) | 405               | 241               | -41%                     |
| Скорость (ср.) - ИТ (км/ч)      | 9,2               | 11,7              | 28%                      |
| Скорость (ср.) - ОТ (км/ч)      | 7,1               | 10,6              | 50%                      |
| Длина очереди, авт.             | 479               | 340               | -29%                     |

ИТ - индивидуальный транспорт; ОТ - общественный транспорт

Таблица 2

Характеристики транспортных потоков после строительства моста-дублера  
по ул. Челюскинцев (утро)

| Показатель                      | Значение          |                                           | Изменение показателей, % |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|--------------------------|
|                                 | без моста-дублера | с мостом-дублером без изменения схемы ОДД |                          |
| Время задержки (ср.) - ИТ (сек) | 126               | 254                                       | 102%                     |
| Время задержки (ср.) - ОТ (сек) | 239               | 394                                       | 65%                      |
| Скорость (ср.) - ИТ (км/ч)      | 11,3              | 7,1                                       | -37%                     |
| Скорость (ср.) - ОТ (км/ч)      | 10,4              | 6,5                                       | -37%                     |
| Длина очереди, авт.             | 1013              | 1732                                      | 71%                      |

После строительства моста-дублера по ул. Челюскинцев потребуется изменение схемы организации дорожного движения (ОДД), что позволит уменьшить (табл. 3) транспортные заторы в утреннее время.

Таблица 3

Характеристики транспортных потоков после строительства моста-дублера  
по ул. Челюскинцев и изменению схемы ОДД (утро)

| Показатель                      | Значение показателей с мостом-дублером |                           | Изменение показателя, % |
|---------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                                 | без изменения схемы ОДД                | после изменения схемы ОДД |                         |
| Время задержки (ср.) - ИТ (сек) | 254                                    | 148                       | -41,7                   |
| Время задержки (ср.) - ОТ (сек) | 394                                    | 234                       | -40,6                   |
| Скорость (ср.) - ИТ (км/ч)      | 7,1                                    | 12,0                      | 68,3                    |
| Скорость (ср.) - ОТ (км/ч)      | 6,5                                    | 11,0                      | 69,0                    |
| Не вошло ТС                     | 1732                                   | 1120                      | -35,3                   |

Ситуация в данном районе усложняется и по другим причинам. Важной проблемой для транспортного комплекса города Тюмени является аварийность. Реализация мероприятий по повышению БДД может приводить к затруднению дорожного движения и ухудшению характеристик транспортных потоков.

Строительство новых объектов дорожной инфраструктуры требует комплексной работы по оптимизации схемы ОДД, в том числе с учетом требований безопасности движения, корректировке маршрутной сети городского пассажирского общественного транспорта (ГПОТ) и режимов работы светофорных объектов.

Например, в настоящий момент идет реконструкция автодороги и круговое движение на пересечении улиц Щербакова и 2-я Луговая заменяется созданием перекрестка со светофорным объектом. Анализ предварительных результатов моделирования дорожного движения в данном районе (табл. 4) показывает, что средняя скорость движения снижается на 86 %, время в пути увеличивается в 2,16 раза.

Таблица 4

Характеристики транспортных потоков после реконструкции пересечения улиц Щербакова и 2-ая Луговая (предварительные результаты)

| Показатель                     | Единица измерения | Значение показателя при ОДД         |                                        | Изменение показателей |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|
|                                |                   | на перекрестке с круговым движением | на перекрестке со светофорным объектом |                       |
| Время в Пути                   | сек/км            | 78,6                                | 169,4                                  | в 2,16 раза           |
| Время задержки                 | сек/км            | 11,8                                | 102,3                                  | в 8,7 раза            |
| Время остановки                | сек/км            | 2,3                                 | 86,5                                   | в 37,6 раза           |
| Итоговое время в пути          | ч                 | 24,9                                | 58,1                                   | в 2,16 раза           |
| Итоговое пройденное расстояние | км                | 1164,9                              | 1242,6                                 | на 6,7 %              |
| Плотность                      | ТС/км             | 5,6                                 | 11,4                                   | в 2 раза              |
| Скорость                       | км/ч              | 47,2                                | 25,3                                   | на 86,6 %             |

Другим примером существенного изменения дорожной обстановки является введение в эксплуатацию прямого хода и части съездов по путепроводу через Транссиб на ул. Монтажников [1]. Его длина составляет 743,5 м, общая протяженность развязки со съездами и реконструкцией примыкающих улиц – 4,46 км. Новый объект позволил перераспределить часть транспортного потока с улиц Пермькова и Широтной, что позволило создать на данных автодорогах полосы для движения ГПОТ. При этом произошло улучшение значений показателей, как для общественного, так и для личного транспорта. Характеристики транспортных потоков до и после ввода в эксплуатацию путепровода приведены в табл. 5.



Таблица 5

Характеристики транспортных потоков после строительства путепровода через Транссиб и транспортной развязки по ул. Монтажников

| Временной ряд      | Ед. изм. | Значение показателей                |                                                                  | Изменение показателя, % |
|--------------------|----------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                    |          | до ввода в эксплуатацию путепровода | после ввода в эксплуатацию путепровода и создания полос для ГПОТ |                         |
| Скорость - ИТ      | км/ч     | 19,3                                | 20,5                                                             | 6%                      |
| Скорость - ОТ      | км/ч     | 19,9                                | 21,3                                                             | 7%                      |
| Длина очереди - ИТ | ТС       | 3657                                | 2983                                                             | -18%                    |
| Длина очереди - ОТ | ТС       | 28                                  | 14                                                               | -50%                    |
| Плотность ТС - ИТ  | ТС/км    | 14,7                                | 13,5                                                             | -8%                     |
| Плотность ТС - ОТ  | ТС/км    | 0,73                                | 0,64                                                             | -12%                    |

Улучшение дорожной обстановки произойдет в районе Железнодорожного вокзала, улиц Первомайская, Герцена, Товарное шоссе, Запольная, Грибоедова после строительства дороги по улице Запольная в створе улиц Грибоедова и Первомайская и строительства транспортной развязки на пересечении улиц Запольная и Первомайская [2].

Таблица 6

Характеристики транспортных потоков после строительства транспортной развязки по ул. Первомайская и участка автодороги по ул. Запольная

| Показатель                                           | Значение показателей                   |                                                  | Изменение показателя, % |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|
|                                                      | до строительства транспортной развязки | после ввода в эксплуатацию транспортной развязки |                         |
| Время в пути ТС, сек/км                              | 327,5                                  | 198,5                                            | -39,4                   |
| Время задержки ТС, сек/км                            | 260,8                                  | 132,2                                            | -49,3                   |
| Время остановки ТС, сек/км                           | 233,8                                  | 115,2                                            | -50,7                   |
| Макс. виртуальная очередь ТС, ед.                    | 3033                                   | 1770                                             | -41,6                   |
| Поток прошедших ТС за период моделирования, авт./час | 2536                                   | 4316                                             | 70,2                    |
| Гармоническая скорость ТС, км/ч                      | 11,8                                   | 19,2                                             | 62,4                    |

Анализ результатов моделирования дорожного движения показывает, что в дальнейшем будет происходить ухудшение дорожной обстановки в центральной части города.

Аналогичную проблему решают все крупные города мира. В многих городах для минимизации негативного последствия на дорожно-

транспортную обстановку в центральной части города органы муниципальной власти применяют комплекс мероприятий:

- 1) Демотивация использования личного транспорта при поезде жителей в центр города;
- 2) Усиление мотивации к использованию жителями города общественного транспорта;
- 3) Повышение пропускной способности УДС;
- 4) Развитие сети парковок, в том числе по принципу перехватывающих.

Инструментами демотивации использования личного транспорта являются ограничение мест стоянки транспортных средств и взимание платы за парковку, а в некоторых городах - введение платы за въезд в центр или ограничение использования ТС по дням недели.

Для усиление мотивации использования ГПОТ требуется повышение качества транспортного обслуживания населения (улучшение информированности пассажиров о времени прибытия, уменьшения времени ожидания ТС, уменьшения времени поездки, возможность проезда по одному билету на нескольких видах транспорта и по нескольким маршрутам, а также дифференцированные тарифы).

Также необходимо обеспечивать доступность подхода к остановочным пунктам, что требует развития маршрутной сети. Все это сопровождается значительными затратами бюджета города на создание инфраструктуры (остановочные комплексы, выделенные полосы для ГПОТ), приобретение дополнительного и обновление существующего подвижного состава, и дотации для перевозчиков.

Для повышения пропускной способности УДС требуются исследования с применением имитационного моделирования и поиска резервов за счет изменения схем ОДД и режимов работы светофорных объектов. Необходимо создание дополнительных парковочных мест вне УДС для перемещения на них ТС с автомобильных дорог. Сложность проблемы вызывает необходимость в постоянном мониторинге ситуации и корректировке транспортного раздела генерального плана города и планов развития дорожно-транспортной инфраструктуры.

#### Список литературы

1. Карманов Д.С., Фадюшин А.А. Моделирование транспортных потоков при создании выделенных полос для общественного пассажирского транспорта на ул. Пермякова - ул. Широтная города Тюмени // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Тюмень, 2014. С. 232-237.
2. Дерябина Е.Р., Шестакова Е.В., Осипова Н.А., Захаров Д.А. Моделирование движения транспортных потоков с целью оценки эффективности изменения схемы организации дорожного движения // Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта: Материалы международной научно-практической конференции. - Курган: Из-во КГУ, 2013. С. 278-285.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ АГНКС

*А.С. Иванов*

*Тюмень, Государственный аграрный университет Северного Зауралья*

Автомобильный транспорт нашей страны продолжает быстро развиваться: совершенствуется и видоизменяется конструкция автотранспортных средств, расширяется номенклатура подвижного состава, растет численность парка [1, 2]. Вместе с этим увеличиваются затраты на автомобильное топливо [3]. Доля потребляемого нефтяного топлива достигла 30% [4-6]. Поэтому мероприятия, направленные на сбережение энергоресурсов и сокращение потребления жидких нефтепродуктов, на автомобильном транспорте стоят очень остро. Не менее важной является и проблема снижения загрязнения окружающей среды токсичными компонентами отработавших газов, поскольку воздух играет самую важную роль в повседневном обмене веществ в организме человека [8,9].

Международные экологические стандарты предъявляют повышенные требования к снижению выбросов CO, CH, NO<sub>x</sub>, и твердых частиц (табл. 1) [7].

В период с 2000 года (Евро-3) до 2014 (Евро-6) предельные нормы выбросов NO<sub>x</sub> для дизельных автомобилей в ЕС уменьшились на 85%. Однако реальный уровень выбросов за этот период снизился только около 40%. Дизельные автомобили составляют более 50% всех новых автомобилей в Евросоюзе, являясь одним из основных источников загрязнения оксидами азота. Европейская комиссия в настоящее время готовит улучшенную процедуру сертификации новых транспортных средств, согласно которой с 2017 года автопроизводители будут обязаны, кроме лабораторных, проводить и реальные дорожные испытания с использованием портативных систем измерения выбросов (PEMS) [11].

На начало 2012 года в России, для топлива применяется стандарт «Евро-2», а для автотранспорта введен стандарт «Евро-3». Изначально с 1. 01. 2010 года было запланировано введение стандарта «Евро-4», но сроки были переназначены на 2012 год, а в дальнейшем переведены на 2014 год. Так же несколько раз изменялись сроки перехода к новым стандартам топлива. По отношению к автомобильной технике, было разработано постановление Правительства РФ от 20.01.2012 года, по продлению сроков на действие сертификатов, предусмотренных стандартом «Евро-3» до 31 декабря 2013 г.

Таблица 1

## Нормы выбросов для легковых автомобилей (категория M1)

| Этап                                                                                        | Дата    | CO          | HC   | HC+NOx      | NOx  | PM          | PN     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|------|-------------|------|-------------|--------|
|                                                                                             |         | г/км        |      |             |      |             |        |
| Дизель                                                                                      |         |             |      |             |      |             |        |
| Euro 1                                                                                      | 1992.07 | 2.72 (3.16) | -    | 0.97 (1.13) | -    | 0.14 (0.18) | -      |
| Euro 2, IDI                                                                                 | 1996.01 | 1.0         | -    | 0.7         | -    | 0.08        | -      |
| Euro 2, DI                                                                                  | 1996.01 | 1.0         | -    | 0.9         | -    | 0.10        | -      |
| Euro 3                                                                                      | 2000.01 | 0.64        | -    | 0.56        | 0.50 | 0.05        | -      |
| Euro 4                                                                                      | 2005.01 | 0.50        | -    | 0.30        | 0.25 | 0.025       | -      |
| Euro 5a                                                                                     | 2009.09 | 0.50        | -    | 0.23        | 0.18 | 0.005       | -      |
| Euro 5b                                                                                     | 2011.09 | 0.50        | -    | 0.23        | 0.18 | 0.005       | 6.0x10 |
| Euro 6                                                                                      | 2014.09 | 0.50        | -    | 0.17        | 0.08 | 0.005       | 6.0x10 |
| Бензин                                                                                      |         |             |      |             |      |             |        |
| Euro 1                                                                                      | 1992.07 | 2.72 (3.16) | -    | 0.97 (1.13) | -    | -           | -      |
| Euro 2                                                                                      | 1996.01 | 2.2         | -    | 0.5         | -    | -           | -      |
| Euro 3                                                                                      | 2000.01 | 2.30        | 0.20 | -           | 0.15 | -           | -      |
| Euro 4                                                                                      | 2005.01 | 1.0         | 0.10 | -           | 0.08 | -           | -      |
| Euro 5                                                                                      | 2009.09 | 1.0         | 0.10 | -           | 0.06 | 0.005 (DI)  | -      |
| Euro 6                                                                                      | 2014.09 | 1.0         | 0.10 | -           | 0.06 | 0.005 (DI)  | -      |
| IDI - дизеля с разделенными камерами сгорания<br>DI - двигатели с непосредственным впрыском |         |             |      |             |      |             |        |

Применение альтернативных видов топлива позволяет эффективно решить взаимосвязанные проблемы энергетической и экологической безопасности страны. Реальным заменителем традиционного жидкого моторного нефтяного топлива в ближайшем будущем станет сжатый природный газ (СПГ). Это подтверждает положительный отечественный и зарубежный опыт газификации автотранспортных средств [12]. Использование метана в качестве моторного топлива позволяет снизить выбросы в атмосферу оксидов углерода и оксидов азота на 30-70%, а также уменьшить дымность отработавших газов в 8-10 раз [13,15].

Российская Федерация имеет благоприятные условия для использования газа в качестве моторного топлива, в первую очередь за счет огромных его запасов. Кроме того, единая система газоснабжения обеспечивает подачу природного газа в большинстве населенных пунктов России [14].

В г. Тюмени и районах Тюменской области наиболее предпочтительным представляется частичная замена традиционных видов моторного топлива на КПГ ввиду его низкой себестоимости и практической неограниченности этого ресурса в стране. В Тюменской области сосредоточены крупнейшие в России нефтяные, газоконденсатные месторождения. Добывается 65% общероссийской нефти, 92% природного газа.

Газоснабжение г. Тюмени обеспечивает практически все районы города (рис. 1).



Рис. 1. Схема газоснабжения и газификации г. Тюмени

Однако, несмотря на широкую разветвленность газовой сети и большой парк автомобилей, который насчитывает более 300000 единиц, в городе Тюмени работает только одна автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС) (рис. 2) [9,10]. Это естественно сдерживает перевод транспорта на газовое топливо.

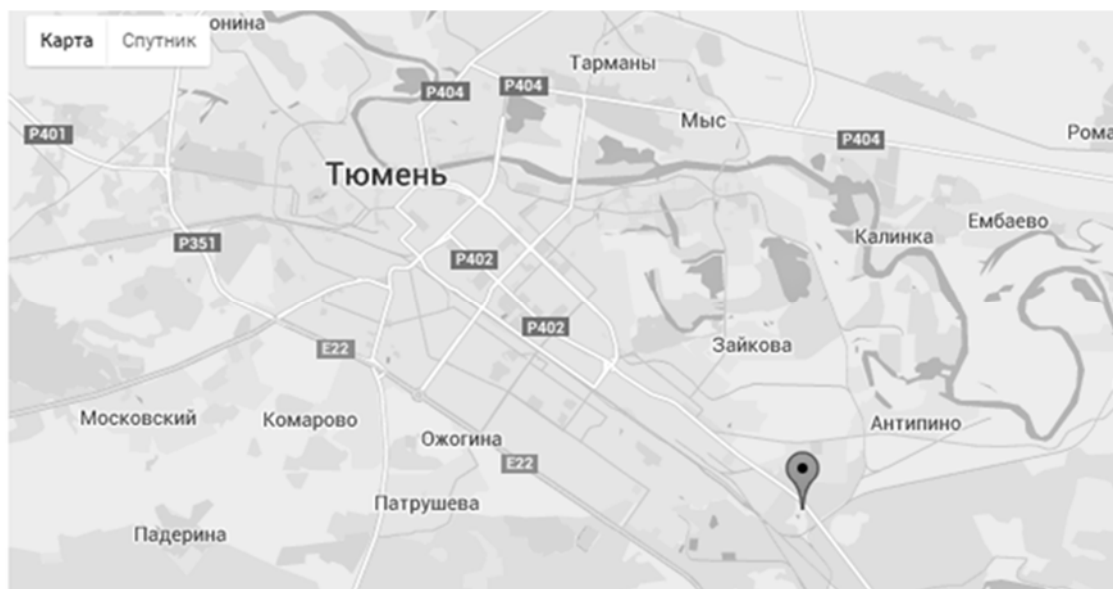


Рис. 2. Расположение АГНКС в г. Тюмени

Одним из вариантов решения данной проблемы является строительство так называемых малогабаритных (мини, микро) АГНКС. Их эффективно устанавливать в транспортных предприятиях, занимающихся обслуживанием города (пассажирские перевозки, машины для коммунального обслуживания города и т.д.), а также на территории частного дома для индивидуальной заправки автомобиля.

Базовая комплектность: компрессорная установка, выполненная во взрывозащищенном исполнении; заправочный шланг; заправочный пистолет; электрический шкаф.

Мини заправка подключается к бытовой газовой сети с диапазоном давлений от 0,017 до 0,035 бар аналогично другим газовым приборам: плита, котёл, АГВ, водогрейная колонка. Давление заправки в автомобиль составляет 200 бар. Производительность – от 2 до 40  $\text{м}^3$  / час (48 – 960  $\text{м}^3$  / сутки) что позволяет заправить от 2 до 96 легковых автомобилей (1 – 24 «Газелей») в сутки.

На рис. 3 представлена микро АГНКС компании Sicom производительностью 5  $\text{куб.м/ч}$ , а в табл. 2 ее технические характеристики.



Рис. 3. Компрессор высокого давления SICOM-5

## Технические характеристики Sicom-5

| <b>SICOM-5</b>                                            |                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Скорость зарядки:                                         | 85 л / мин - 5 м.куб / ч                                                                 |
| Время наполнения бака<br>80 литров (кг 11,5) 0 / 200 бар: | 3 ч                                                                                      |
| Рабочее давление:                                         | 200 бар - 2900 Psi или 250 бар - 3800 Psi                                                |
| Двигатель:                                                | трехфазный или однофазный электродвигатель                                               |
| Мощность:                                                 | трехфазных 3 кВт<br>(230 - 50/60 Гц, 400 В - 50 Гц)<br>однофазный 3 кВт<br>(230 - 50/60) |
| Размеры:                                                  | Высота 105 см / 41,3 "<br>Ширина 70 см / 27,5 "<br>глубина 67 см / 26,3 "                |
| Вес:                                                      | 160 кг / 352 фунтов                                                                      |
| Шум:                                                      | 65 дБ (на расстоянии 1 м)                                                                |
| Этапы сжатия, количество цилиндров:                       | 3                                                                                        |
| Смазка:                                                   | Масло синтетическое Coltri CE 750                                                        |
| Рама:                                                     | сталь с порошковым покрытием                                                             |
| Масло / Влагоотделитель:                                  | Предварительной и тонкой очистки                                                         |
| Фильтрация:                                               | На выходе                                                                                |
| Безопасность, Реле давления                               | Maxifilter (молекулярный фильтр) после 3 этапа сжатия                                    |
| Охлаждение                                                | 17 мбар - 200 мбар                                                                       |

Схематически заправка автомобиля показана на рис. 4.

- Вставить заправочный пистолет (а) в заправочное устройство транспортного средства (b);
- Включить компрессор (с);
- Компрессор выключается автоматически, когда давление достигает 200 бар;
- Отсоединить пистолет (а) от заправочного устройства транспортного средства (b).

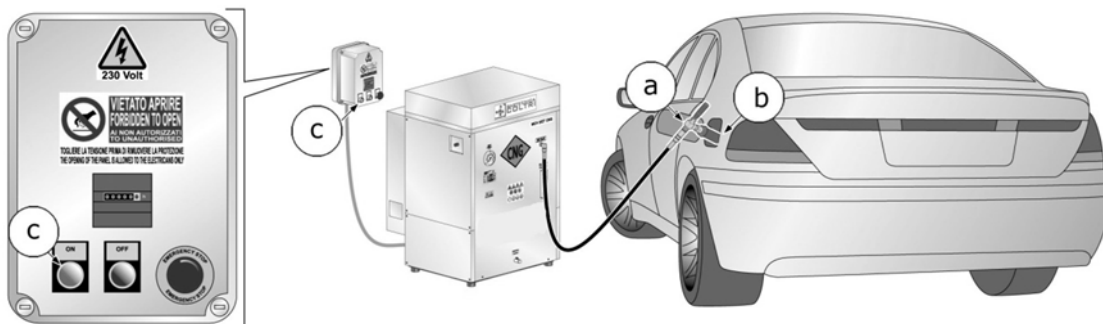


Рис. 4. Схема заправки автомобиля от мини АГНКС

Основные отличия мини заправки от промышленных АГНКС:

- отсутствие блока аккумулятора – сосудов, работающих под давлением, и, соответственно, не требуется постановка на учёт в органы Госгортехнадзор.

- отсутствие заправочной колонки – средство для коммерческого учёта газа, соответственно, не надо 2 раза в год проходить поверку в органах Горстандартметрология.

- исключаются проверки служб МЧС, санэпидемстанции и других госслужб.

- отсутствие большого количества эксплуатационного персонала.

- минимальные затраты на расходные (эксплуатационные) материалы: масло, картридж газового фильтра.

Применение мини и микро АГНКС отлично подойдет для небольших автотранспортных предприятий и коммерческих заправок с небольшой проходимостью и значительно простимулирует перевод автомобилей на метановое топливо.

В целом, ожидаемый результат от перевода автотранспортных средств в Тюменской области на использование КППГ в качестве моторного топлива:

- сокращение техногенных выбросов в атмосферу за счет внедрения КППГ на транспорте в качестве моторного топлива на 7400 тонн в год;

- экономический эффект от использования газообразного моторного топлива вместо жидкого 240 млн. руб.;

- экономия 22000 тонн жидких видов топлива.

## Список литературы

1. Анисимов И. А., Чикишев Е. М. Влияние низких температур воздуха на расход топлива и выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобилей, эксплуатирующихся на компримированном природном газе и бензине // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2010. № 5(53). С. 32-37.
2. Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Исследования приспособленности автомобилей, работающих на природном газе и бензине, к фактическим температурам воздуха // Газовая промышленность. 2014. № 2 (702). С. 82-85.
3. Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Комплексная оценка работы газобаллонных автомобилей в условиях низких температур воздуха // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2014. № 6 (87). С. 3-9.
4. Анисимов И.А., Чикишев Е.М., Иванов А.С. Оценка приспособленности газодизельных автомобилей методом конструктивных аналогий // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2014. № 11 (92). С. 13-18.
5. Ерохов В.И. Газодизельная система питания нового поколения // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2013. № 9 (78). С. 15-23.
6. Иванов А.С., Чикишев Е.М., Анисимов И.А. Низкие температуры и их влияние на показатели АТС // Автомобильная промышленность. – Москва: ООО «Издательство Машиностроение» – 2015. – № 7 – С. 11-14.



7. Куксанов В.Ф., Филиппов А.А., Дудченко О.В. Совершенствование эколого-экономических инструментов стимулирования внедрения газового моторного топлива на маршрутном транспорте (на примере г. Оренбурга) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 10. С. 99-106.
8. Певнев Н.Г., Банкет М.В., Бакунов А.С. Перспективы развития инфраструктуры использования КПП в Омске // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). С. 7-11.
9. Чикишев Е.М. К вопросу рационального размещения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в г. Тюмени // Новые технологии - нефтегазовому региону / отв. редактор О.А. Новоселов. 2015. С. 171-173.
10. Чикишев Е.М. Необходимость сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в г. Тюмени // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2015. № 9 (102).
11. Чикишев Е.М. Экономические и экологические аспекты эксплуатации транспортных средств на компримированном природном газе и бензине в условиях низких температур воздуха // Автотранспортное предприятие. 2010. № 1. С. 43-45.
12. Чикишев Е. М. Анисимов И. А. Влияние низких температур воздуха на энергетические и экологические параметры газобаллонных автомобилей // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 6 (30). С. 32-33.
13. Чикишев Е. М. Анисимов И. А. Методика расчёта массовых и удельных выбросов вредных веществ в отработавших газах двухтопливных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2010. № 6 (54). С. 4-7.
14. Чикишев Е.М., Иванов А.С., Анисимов И.А. Перспективы использования природного газа и приборов его учёта на автомобильном транспорте // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2015. № 4 (97). С. 3-9.
15. Чикишев Е.М., Резник Л.Г. Определение коэффициента сжимаемости природного газа, применяемого в качестве топлива на транспорте // Газовая промышленность. 2014. № 10 (713). С. 100-103.

УДК 656.13

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЯ УАЗ-3741 ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ТЯЖЕЛЫХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

*А.В. Ильяхин, М.В. Хаваев*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Целью данной работы является подготовка транспортного средства для работы в суровых условиях Крайнего Севера на зимних автодорогах, так называемых «зимниках», для улучшения экономических показателей грузоперевозок - сокращения себестоимости.

Одной из проблем Крайнего Севера является отсутствие дорог с асфальтобетонным покрытием [1] при большом количестве раскиданных на значительное расстояние населенных пунктов (различные поселки и де-

ревни) с наделением от 200 до 1000 человек, в которые необходимо подвозить товары первой необходимости (продукты, лекарства и т.д.). Для этого местным предпринимателям приходится использовать грузовые автомобили повышенной проходимости (Урал, КАМАЗ), что влечет к значительному удорожанию товаров в данных населенных пунктах [2]. Поэтому было предложено для сокращения издержек применить для доставки товаров автомобили малой вместимости УАЗ, но базовый автомобиль не в состоянии справиться с данной задачей из-за недостаточной грузоподъемности.

Для выполнения данной работы были сформулированы первостепенные задачи:

1) необходимо доработать кузов автомобиля для увеличения грузоподъемности;

2) заменить двигатель на более мощный, и передаточное число 2-й передачи КПП для обеспечения оптимальных тягово-динамических характеристик модернизированного автомобиля;

3) для оптимизации проходимости автомобиля при работе в тяжелых дорожных условиях необходимо заменить шины автомобиля, а также произвести доработку элементов подвески;

4) рассчитать экономическую эффективность проекта.

Рассмотрим процесс усиление кузова. Изначально на заводских автомобилях УАЗ-3741 лонжероны кузова выполнены из стали 8Г толщиной 0,8 мм. Само днище также сварено из рифленых листов той же марки стали толщиной 0,8 мм. Данные решения, скорее всего, вызваны экономией на производстве, не позволяющие загрузить в автомобиль более тонны груза, а в условиях бездорожья эта же тонна груза, зачастую, деформирует всю конструкцию. Чтобы избежать таких негативных моментов, заменяем лонжероны трубой квадратного профиля 50 на 30 мм, толщиной 1,5 мм изготовленной из стали 20. Также изменениям подверглось и напольное покрытие, которое теперь изготовлено из оцинкованного рифленого листа (сталь 8Г толщиной 1,5 мм), который позволяет более равномерно распределить нагрузку на все несущие элементы кузова. А за счет того, что металл оцинкованный, улучшили коррозионную стойкость кузова в одном из наиболее подверженном этому влиянию месте.

Для проверки правильности принятых конструкторских решений построена эпюра моментов сил действующих на пол и лонжероны автомобиля [3], что позволило увеличить полезную грузоподъемность кузова до 1500 кг, а также создать запас прочности, который необходим при эксплуатации в тяжелых условиях бездорожья.

Следующим пунктом доработки является двигатель автомобиля. В связи с возросшей грузоподъемностью необходимо обеспечить автомобиль достаточно мощным двигателем, «родной» УМЗ-417 не может удовлетворить всем требованиям по тягово-скоростным показателям (см. рис. 1) . По-

этому предлагается использовать другой, более мощный двигатель выпускаемый тем же заводом изготовителем (см. рис 2). Плюс, чтобы не терять мощность и снизить риск остановки, изменяем передаточное число 2-й передачи, приближая его значение к 3-й передаче КПП [4].

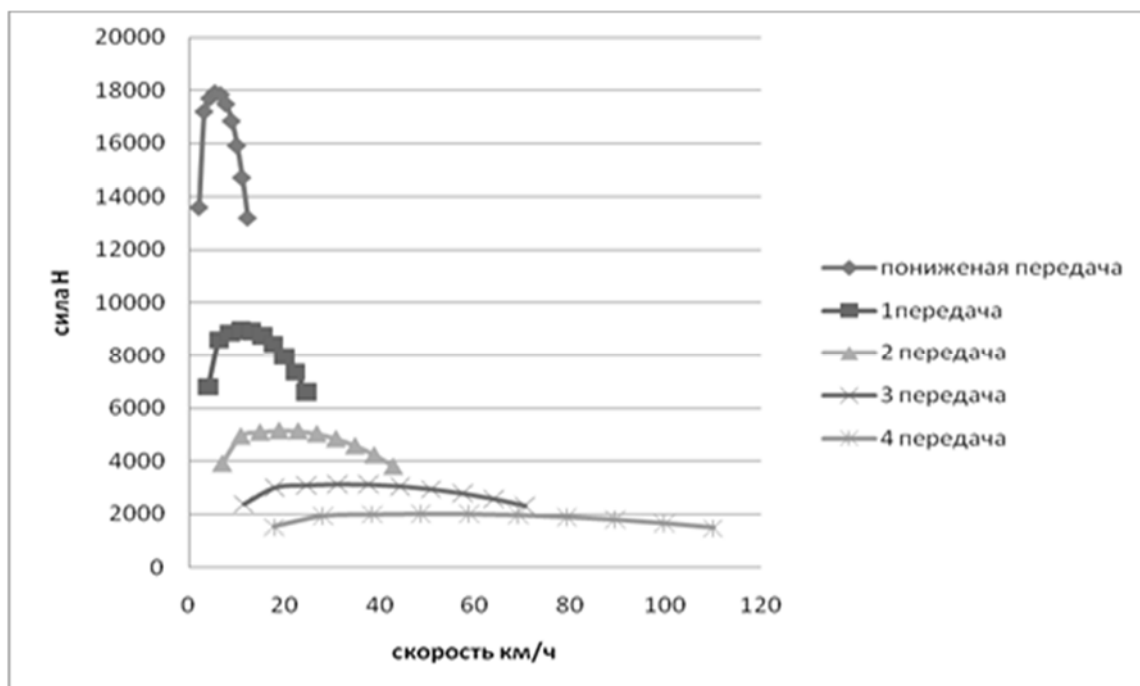


Рис.1. Тягово-скоростные характеристики автомобиля с двигателем УМЗ-417

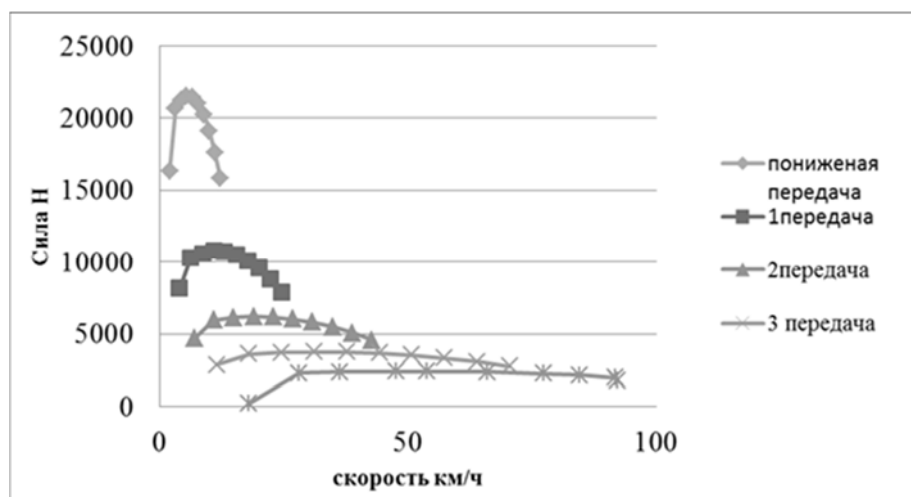


Рис. 2. Тягово-скоростные характеристики автомобиля с двигателем УМЗ-421.2 и измененной КПП

Для улучшения управляемости автомобиля меняем резиновые втулки на полиуретановые. Плюс, для уменьшения проседания подвески от возросшей нагрузки, устанавливаем дополнительные листы рессор.

При расчете экономической эффективности учитывалось стоимость базового автомобиля без доработок и сравнивалось со стоимостью доработанного автомобиля, а также полученной прибыли из-за сокращения расходов.

#### **Список литературы**

1. Захаров, Н.С. Проблемы обеспечения работоспособности автомобилей в условиях Западной Сибири [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, С.Ю. Кичигин, Е.С. Шевелев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2008. – Т. 33. – № 1. – С. 76-77.
2. Захаров, Н.С. Методика сравнительной оценки потребительских свойств автомобилей / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, В.А. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 158-160.
3. Вахламов, В.К. Конструкция и эксплуатационные свойства [Текст] / В.К. Вахламов. - М: МАДИ, 2009. - 547 с.
4. Галимзянов, Р.К. Теория автомобиля [Текст] : / Р.К. Галимзянов.- Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 138 с.

УДК 656.11

### **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА ТЮМЕНИ**

*Д.С. Карманов, А.А. Фадюшин*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Транспортная сфера в развитии города играет немаловажную роль. В настоящее время развитие транспортной инфраструктуры зависит от градостроительства, например, от плотной застройки, сложившейся в исторических центрах городов, или при формировании новых микрорайонов, когда проектные организации не уделяют должного внимания качеству транспортного обслуживания жителей этих микрорайонов. Что, в свою очередь, учитывая рост автомобилизации, приводит к усугублению проблемных ситуаций.

Исторически сложилось так, что город Тюмень разделен на 3 части: центральная часть города, заречная часть, отделенная рекой Тура от центра, и южная часть города, отделенная Транссибирской железнодорожной магистралью. С каждым годом в городе строится все больше микрорайонов, отделенных от центра города, поскольку в центральной части уже существует плотная застройка. Вдобавок, малая связность территории и недостаток путей объезда вызывает большую нагрузку на соединяющие отрезки центральной и отделенных частей УДС города. Например, заречная часть города соединена с центральной частью лишь 3 мостами, один из ко-

торых находится на магистральной улице. В утренний «час-пик» транспортный поток движется к центру города, а в вечерний обратно в микрорайоны. Такая разнонаправленность потоков с высокой интенсивностью автотранспорта требует особого подхода к организации дорожного движения с учетом суточной неравномерности.

Для решения проблем, связанных с несоответствием уровней транспортного предложения и спроса, современные города проводят различные мероприятия по реконструкции текущих участков улично-дорожной сети, строительству новых объектов инфраструктуры (мосты, путепроводы, развязки).

В настоящее время в городе Тюмень ведутся работы по строительству тупиковой улицы Первомайская к мосту ул. Челюскинцев, ведущему в заречную часть города. Также проводятся строительные работы моста-дублера ул. Челюскинцев, не являющийся параллельным первому.

В связи с этим возникает невозможность организации двустороннего движения по ул. Первомайская. Следовательно, такую проблему необходимо решать организацией одностороннего движения. Однако, как организация одностороннего движения повлияет на загруженность улично-дорожной сети, и как это можно оценить не прибегая к существенным затратам?

Для оценки эффективности и экономической целесообразности внедрения различных мероприятий по усовершенствованию организации дорожного движения применяется моделирование транспортной сети города.

Для моделирования процессов дорожного движения в Институте Транспорта ТюмГНГУ используется программный комплекс PTV Vissim 7.0, разработанный немецкой компанией PTV AG.

Институтом транспорта ТюмГНГУ выполнена научно-исследовательская работа по моделированию транспортных потоков и поиску оптимальной схемы организации дорожного движения в центральной части города в рамках муниципального контракта с Департаментом дорожной инфраструктуры и транспорта Администрации города Тюмени.

В научно-исследовательской работе рассмотрено 8 возможных сценариев организации движения в квартале улиц Республики – Челюскинцев – Осипенко – Свердлова – Орджоникидзе, см. рис. 1.

В качестве наиболее эффективных было выбрано два сценария: различие этих двух сценариев заключается в том, что в одном из них (сценарий 1) ул. Дзержинского рассматривалась как пешеходная зона; с организацией одностороннего движения ул. Челюскинцев от моста до пересечения с ул. Хохрякова, и организации одностороннего движения ул. Первомайская от пересечения с ул. Хохрякова до моста ул. Челюскинцев;



Рис. 1. Участок моделирования

Таблица 1

Сравнительная таблица текущей ситуации и сценария 1, утро

| Параметр                    | Текущая | Сценарий 1 | Отклонение |               |
|-----------------------------|---------|------------|------------|---------------|
|                             |         |            | Абсолютное | Относительное |
| Среднее время задержки, сек | 99      | 126        | 27         | 27%           |
| Средняя скорость, км/ч      | 11,21   | 11,61      | 0,40       | 4%            |
| Не вошло ТС, ед.            | 1013    | 954        | -59        | -6%           |

Таблица 2

Сравнительная таблица текущей ситуации и сценария 2, утро

| Параметр                    | Текущая | Сценарий 2 | Отклонение |               |
|-----------------------------|---------|------------|------------|---------------|
|                             |         |            | Абсолютное | Относительное |
| Среднее время задержки, сек | 99      | 183        | 84         | 85%           |
| Средняя скорость, км/ч      | 11,21   | 9,19       | -2         | -18%          |
| Не вошло ТС, ед.            | 1013    | 1487       | 474        | 47%           |

Таблица 3

Сравнительная таблица текущей ситуации и сценария 1, вечер

| Параметр                    | Текущая | Сценарий 1 | Отклонение |               |
|-----------------------------|---------|------------|------------|---------------|
|                             |         |            | Абсолютное | Относительное |
| Среднее время задержки, сек | 143     | 96         | -47        | -33%          |
| Средняя скорость, км/ч      | 9,06    | 11,59      | 2,53       | 28%           |
| Не вошло ТС, ед.            | 479     | 445        | -34        | -7%           |

Таблица 4

Сравнительная таблица текущей ситуации и сценария 2, вечер

| Параметр                    | Текущая | Сценарий 2 | Отклонение |               |
|-----------------------------|---------|------------|------------|---------------|
|                             |         |            | Абсолютное | Относительное |
| Среднее время задержки, сек | 143     | 91         | -52        | -36%          |
| Среднее скорость, км/ч      | 9,06    | 11,94      | 3          | 32%           |
| Не вошло ТС, ед.            | 479     | 502        | 23         | 5%            |

По результатам моделирования в утренний «час пик» наблюдается ухудшение показателей. Это связано с тем, что пропускная способность моста ул. Челюскинцев возрастает в два раза, а именно за счет увеличения количества полос (с одной полосы для движения до двух), это приводит к перемещению транспортного затора, который ранее находился в заречной части города, в центральную часть. Вдобавок пропускная способность ул. Челюскинцев, на которую переместился затор, ограничена большим количеством светофорных объектов (3 светофорных объекта на 700 метров).

В вечерний «час пик» наблюдается примерно одинаковое улучшение показателей во всех сценариях, следовательно выбор нужно делать исходя из наилучшего утреннего, которым является первый сценарий.

По результатам научно-исследовательской работы Департаментом дорожной инфраструктуры и транспорта Администрации г. Тюмени принято решение об организации на исследуемом участке улично-дорожной сети города одностороннего движения улиц Челюскинцев и Первомайская (между пересечением с улицей Хохрякова и до моста ул. Челюскинцев) и подготовкой ул. Дзержинского к ее реконструкции в пешеходную зону.

### Список литературы

1. Волоха П.С., Литвиненко Ю.В., Захаров Д.А. «Развитие городского транспортного комплекса Тюмени. Определение направления деятельности» (статья): Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта. Матер. Междунар. научно-практ. конференции. - Тюмень: Из-во ТюмГНГУ, 2012. - 111 - 113 с.

2. Ярков С. А. «Совершенствование организации дорожного движения в городе Тюмени» (статья): Организация и безопасность дорожного движения. Седьмая Всероссийская научно-практ. конференция. – Тюмень: Из-во ТюмГНГУ, 2014. – 185 – 192 с.
3. Петров А. И. «Автотранспортная аварийность как производная управленческой стратегии повышения эффективности городского общественного транспорта» (статья): Проблемы функционирования систем транспорта. Всероссийской научно-практ. Конференции студентов аспирантов и молодых ученых. – Тюмень: Из-во ТюмГНГУ, 2014. – 150 – 158 с.

УДК 621.43.038:665.73

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМОЛООБРАЗОВАНИЯ БЕНЗИНА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Б.А. Каюмов

Узбекистан, Андижан, Андижанский машиностроительный институт

Результаты эксплуатационных испытаний показали [1], что основное количество отказов элементов системы питания, происходят вследствие загрязненности топлива, и в общем списке отказов значатся отказы, вызванные смолообразованием из-за использования некачественного бензина в инжекционной системе питания двигателей.

Одним из основных требований обеспечения эксплуатационной надежности инжекционной системы питания двигателей является применение качественных топливно-смазочных материалов. Однако в период проведения наблюдений установлено, что качество применяемых в двигателях подконтрольных автомобилей бензины в большинстве случаев не отвечают требованиям стандарта, особенно по содержанию в них механических загрязнений, воды и смоль. В топливе также могут содержаться сернистые, кислородные и азотистые соединения.

Смолисто-асфальтовые вещества (смолы, асфальтены и др.) относятся к сложным циклическим соединениям, в молекулу которых наряду с углеродом и водородом еще входят кислород и сера.

Химическая структура смолисто-асфальтовых веществ еще не выяснена, и поэтому в основу классификации положена различная способность их растворяться в нефтепродуктах. По этой классификации различают:

-нейтральные смолы – высоковязкие жидкости или аморфные тела плотностью около единицы, хорошо растворяющиеся во всех жидких нефтепродуктах;

-ароматические углеводороды в бензине, обладая высокими антидетонационными свойствами, вместе с тем при содержании более 40% резко увеличивают нагарообразование в двигателе и способность нагара удерживаться (не выгорать) на поверхности деталей, усиливая возможность калильного зажигания.



-асфальтены - твердые хрупкие вещества, окрашенные в бурый или черный цвет и обладающие плотностью выше единицы;

-кислые смолы плотностью выше единицы внешне сходны с нейтральными смолами, и в отличие от последних кислые смолы мало растворимы в углеводородной среде, но в бензине совсем не растворимы, поэтому по мере образования они выпадают из нефтепродуктов и оседают на деталях и систем питания в виде липких отложений.

Основными параметрами обуславливающие качества автомобильных бензинов являются: плотность; октановое число; содержание компонентов повышающих октановое число, давление паров, содержание фактических смол и серы.

С повышением температуры окружающей среды увеличивается склонность образования смолы в бензине.

Применение этилированных бензинов, даже с бромистым выносителем, приводит к нежелательным явлениям в эксплуатации [2]:

- повышенному нагарообразованию в связи с увеличением содержания ТЭС (80-85 % свинца в нагаре на выпускных клапанах и свечах и 50-70% — на поршнях и головках блоков цилиндров);
- повышенной склонности к калильному зажиганию;
- снижению надежности работы свечей и выпускных клапанов;
- неравномерному распределению выносителя по цилиндрам, которое приводит к повышенному нагарообразованию;
- коррозирующему действию на металлы в присутствии воды;
- разложению ТЭС при длительном хранении, что снижает детонационную стойкость бензинов и др.;
- повышению токсичности;
- повышению смолообразования.

Основной характерной особенностью эксплуатации машин в условиях Центральной Азии являются высокая температура и запыленность воздуха.

В летний период дневная абсолютная максимальная температура окружающего воздуха в условиях Центральной Азии (июнь-сентябрь) колеблется от +37 до +47<sup>0</sup> С. В кабине автомобиля температура достигает +45-48<sup>0</sup> С, а под капотом +80-90<sup>0</sup> С [3]. Это приводит к тому, что окисление и осмоление бензина в климатических условиях Центральной Азии ускоряется. В результате бензины приобретают желтовато-коричневый цвет, а на стенках емкости при хранении появляется слой смолистых веществ.

При использовании такого бензина на стенках топливного бака, топливопроводов, топливного насоса, фильтра грубой и тонкой очистки, инжектора, регулятора давления и других деталей системы питания могут образовываться смолистые отложения в виде плотно прилегающего коричневого слоя мазеобразной консистенции. При эксплуатации автомобиля на бензинах, содержащих небольшое количество смол (в пределах норм, допустимых стандартом на бензин), в инжекционной системе питания образуется лишь небольшие отложения, практически не влияющие на работу системы питания,

но со временем механические примеси в виде почвенной пыли, песчинок и т.д. находящиеся в бензине способны прилипать к ранее образовавшимся отложениям в системе питания и адсорбировать на своей поверхности новые смолистые вещества. При использовании бензинов с повышенным содержанием смол возможен образование отложений, способных вызвать нарушение нормальной работы системы питания. Основное количество отказов вызванное смолообразованием встречаются в инжекторах.

Поэтому с целью уменьшения влияния процесса смолообразования на показатели надежности инжекционной системы питания двигателей была поставлена задача: исследовать процесс смолообразования в системе питания автомобилей в лабораторно-стендовых условиях.

При разработке лабораторной установки, прежде всего, исходили из того, чтобы обеспечить идентичность режимов работы элементов инжекционной системы питания двигателей в лабораторно-стендовых условиях с эксплуатационными.

Разработанный лабораторный стенд для испытания инжекционной системы питания двигателей представляет собой стационарную установку (рис. 1 и 2), оборудованную ротационным расходомером с тепловычителем и датчиками температуры 5, манометром 6, топливным баком 1. Топлива подается в систему под давлением 310 кПа с помощью топливного насоса 2. Топливо, протекая через трубопроводы и фильтр 4 подается к топливному рампу, на которой установлены инжекторы 7 и регулятор давления 8. Расход подачи топлива контролируется с помощью расходомера 5 и там же определяется температура топлива, термометром, а с помощью манометра определяется давления в трубопроводах (рис. 2). Электропривод топливного насоса и электроконтакты инжектора подсоединены в сеть через электрический- трансформатор 1.

Изменение температурного (Т) режима работы в системе питания осуществляется электрическим способом, для чего в каждом инжекторе установлены электронагреватели топлива (рис. 1.). Изменения давления в системе можно достичь с помощью электрического топливного насоса, для повышения давления (Р) в системе увеличивается производительность насоса (Q), а для снижения – уменьшается.

Электрическая схема установки (рис. 1) работала под напряжением тока  $\approx 220$  В, для чего она подключается в общую сеть через преобразователь тока.

В процессе проведения эксперимента создавались высокотемпературные эксплуатационные условия работа инжекционной системы питания. Для этого температура бензина в системе питания изменялась в нескольких диапазонах перепадов температуры соответствующих разным регионам эксплуатации автомобилей в Узбекистане. С учетом этого установка предусматривает возможность работы инжекционной системы питания двигателей в различных диапазонах изменения температуры окружающей среды и бензина, т.е. как в обычных, так и высокотемпературных условиях.

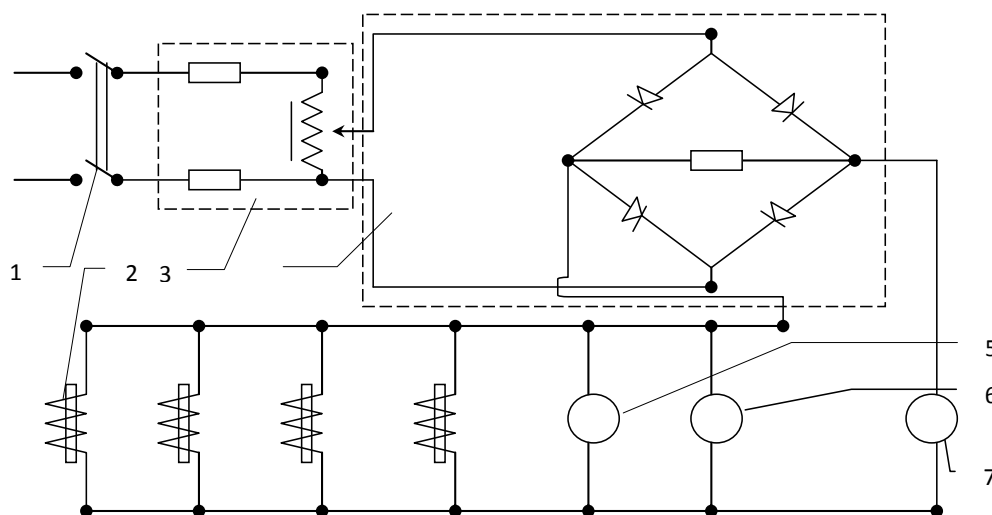


Рис. 1. Электрическая схема лабораторно-стендовой установки для испытания инжекционной системы питания двигателей внутреннего сгорания: 1- выключатель; 2-инжекторы; 3-трансформатор; 4-мостовая схема преобразования электрического тока; 5-электродвигатель топливного насоса; 6-вольтметр; 7-амперметр.

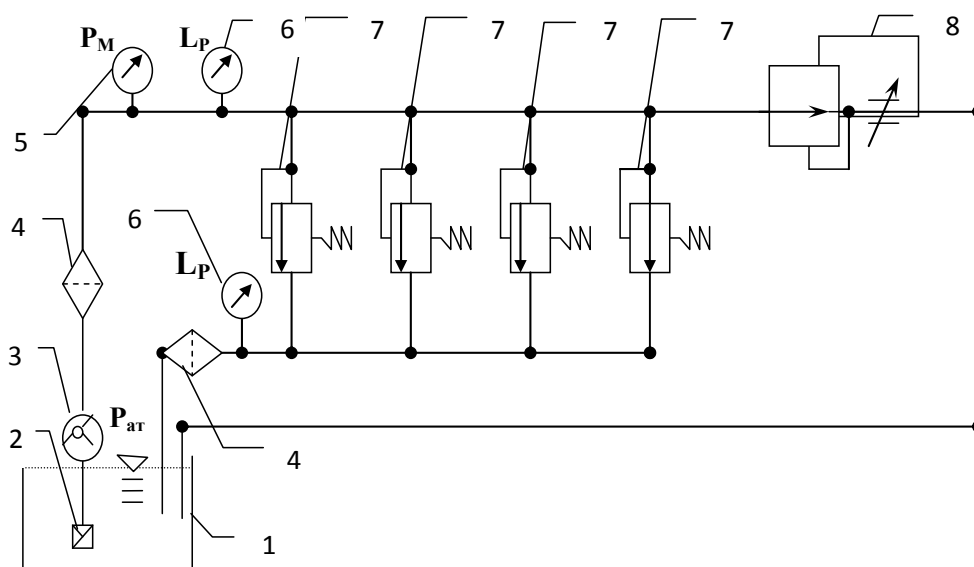


Рис. 2. Гидравлическая схема лабораторно-стендовой установки для испытания инжекционной системы питания двигателей внутреннего сгорания: 1-бак; 2-фильтр насоса; 3- топливный насос; 4- топливный фильтр; 5- манометр; 6- расходомер; 7- инжекторы; 8- регулятор давления.

Испытания показали, что образования смолистых отложений оказывает наибольшее вредное влияние на работу инжекторов. Наибольшее количество отложений образовывается вокруг точечных отверстий впрыскивания инжектора, при этом наблюдались случаи перекрытия отверстий смолистыми твердыми отложениями, явившимися причиной постепенного прекращения подачи топлива.

Смолистые отложения, прилипая к внутренним стенкам инжектора, приводят к неподвижному состоянию его штока, в результате чего появляется отказ в работе инжектора.

По результатам испытаний также установлено, что имеются случаи засорения смолистыми веществами внутренних каналов регулятора давления, приводящее к повышению давления в топливной рампе, что способствует увеличению расхода топлива.

Исследование разных сортов бензина показали, что характер протекания процесса смолообразования на всех испытанных сортах топлива имеют примерно одинаковую последовательность. Из этого следует, что все сорта применяемых в автомобилях бензины во время эксплуатации начинают окисляться с последующим образованием смолоотложений на деталях системы топливоподачи двигателей.

Таким образом, результаты испытаний показали, что при эксплуатации автомобилей с инжекционной системой питания бензиновых двигателей в жарко-климатических условиях территории Узбекистана наблюдаются случаи существенного смолообразования в системе топливоподачи, причиной которого является как применения некачественных сортов бензина, так и влияние высокой температуры окружающей среды, приводящие к ускорению процесса окисления бензинов и впоследствии образования смолистых отложений на деталях системы питания.

#### **Список литературы**

1. Каюмов Б.А. Анализ закономерностей распределения отказов элементов инжекционной системы питания двигателей методом сплайн-функций. //Вестник Курганского государственного университета. Серия «Технические науки». Курган: изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. №2. С. 73-75.
2. Крамаренко Г.В., Салимов А.У., Каримходжаев Н.Т, Каюмов К.К. Качество топлива и надежность автотракторных двигателей. - Ташкент. Фан. 1992. – 118 с.
3. Каюмов Б.А. Влияние химической стабильности бензина на надежность системы питания двигателей с электронно-точечным впрыском топлива. // Научно-технический журнал ФерПИ. 2003. №1. С 76-79.

УДК 625.7/.8

### **СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ СНЕГА**

*В.И. Колесов, В.Г. Оржаховский*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Специфика дорожного строительства на севере Западной Сибири характеризуется широким использованием снежоледовых дорог в зимнее время. Проблема обеспечения их высокого качества при снижении энергоемкости строительства выдвигается в число приоритетных. Современная технология создания таких дорог базируется на масштабном привлечении

инструментальных аппаратно-программных средств поддержки строительства, в частности, измерительных приборов и информационных систем. Особое внимание уделяется оперативному контролю технологии возведения снеголедовых дорог, с целью достижения их наилучшего качества. Это в первую очередь относится к механическим свойствам покрытия, в сильной степени зависящего от заданной влажности снега. Метрологические характеристики приборов, используемых для её измерения, определяют в итоге достижимый уровень качества производства. Статья направлена на обоснование ресурсных характеристик инструментальных средств поддержки технологии строительства зимних дорог.

Одним из конкурентоспособных способов определения влажности снега, используемых в спецтехнике для строительства зимних дорог, является оптический способ, защищенный патентом РФ № 2291414 [1]. Он основан на зависимости прозрачности снежной массы от ее влажности. Эксплуатационные характеристики устройства, реализующего этот способ, определяются в значительной степени уровнем понимания механизма растепления снежной пробы. Большой объем проведенных экспериментов позволяет дать ответ на два главных вопроса: во-первых, какова структура модели измерителя и, во-вторых, как зависят параметры модели от влажности просвечиваемой среды. Цель статьи – дать ответ на первый вопрос, т.е. выполнить структурную идентификацию модели прибора.

Схема устройства, реализующего управление влажностью снега и оптический способ её измерения, приведена на рисунке 1.

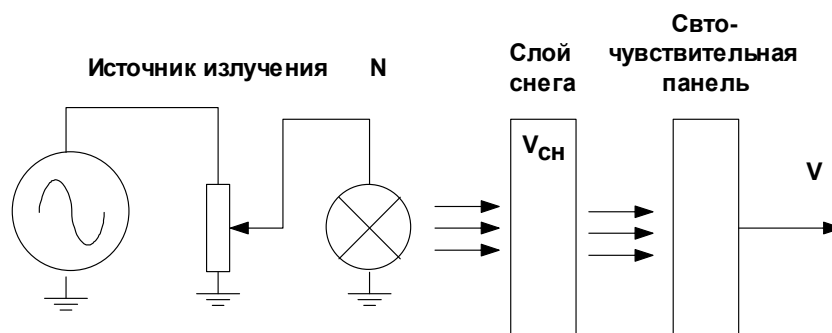


Рис. 1. Схема измерения влажности снега

Суть его работы сводится к следующему. Источник энергии (мощностью  $N$ ) с управляемой интенсивностью светового и теплового потоков просвечивает снежную пробу толщиной  $h$  и объемом  $V_{сн}$ , при этом выходящий световой поток фиксируется светочувствительной панелью, преобразующей световой поток в электрический сигнал  $V$ . Преобразование  $V$  в значения влажности осуществляется по тарировочной характеристике. В ходе эксперимента предусмотрена возможность вариации  $N$ ,  $V_{сн}$  (а, следовательно, и  $h$  при фиксированной площади пробы), а также температуры снега и внешней среды.

Структурная идентификация модели (под которой понимается функция  $V(T)$ ) осуществлялась по результатам измерения напряжения  $V$  от времени растепления снега  $T$  при фиксированной мощности источника  $N$ . Типовой вид кривых представлен на рисунке 2.

Предварительно данные были отнормированы с использованием преобразования

$$F(T) = \frac{V(T) - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}, \quad (1)$$

здесь  $V_{\min}$  и  $V_{\max}$  соответственно минимальное и максимальное значение  $V$ .

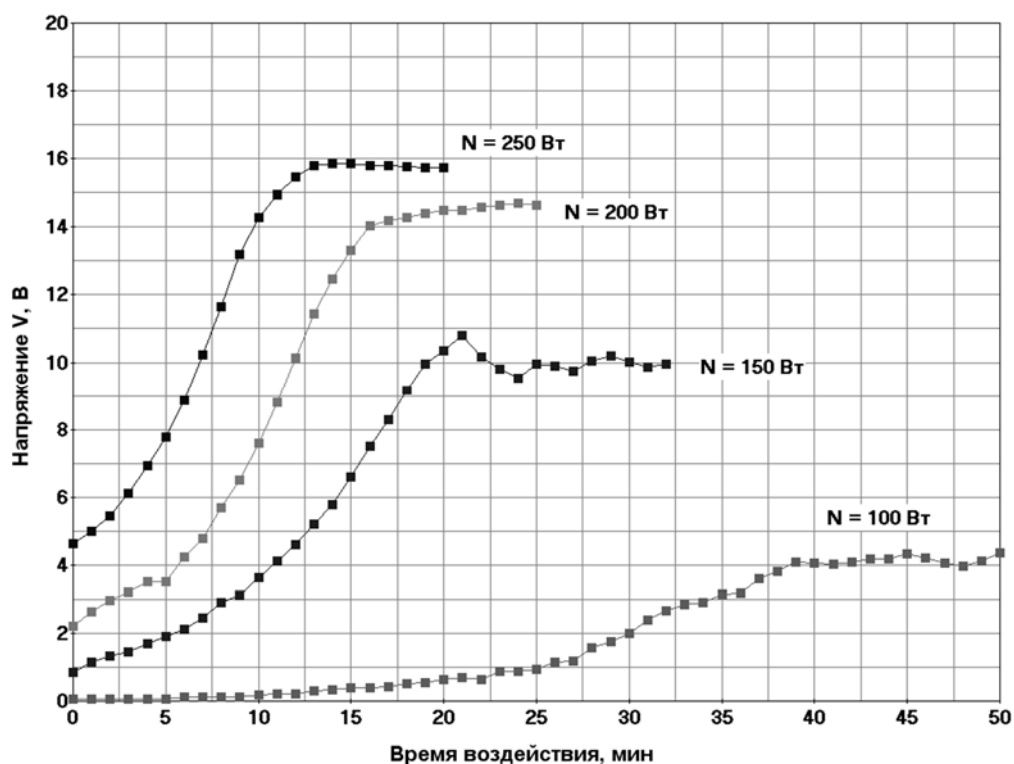


Рис. 2. График зависимости напряжения  $V$  от времени воздействия  $T$

Такое преобразование гарантировало выполнение условия  $0 \leq F(T) \leq 1$ .

Далее рассматривались три гипотезы о характере распределения  $F(T)$ :

- Харрингтона:  $FH(T) = \exp(-(\exp(-(a \cdot T + b))))$ ;
- логистическое:  $FL(T) = 1 / (1 + \exp(-(T + a)/b))$ .
- Вейбулла:  $FW(T) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{b}\right)^c\right]$ ;

Проверка справедливости конкурирующих гипотез осуществлялась для мощности источника  $N = 250$  Вт с привлечением аппарата линейной регрессии. С этой целью были выявлены условия приведения распределений к линейной форме.

*Функция Вейбулла.* Простые преобразования приводят к линейной связи

$$c \cdot x - a = \ln[-\ln(1 - FW(T))] = YW(x),$$

где  $x = \ln(T)$ ;  $a = c \cdot \ln(b)$ ;  $b = \exp(a/c)$ .

*Функция Харрингтона.*

$$x = -\ln(-\ln(FH(T))) = YH(x) \quad (\text{здесь } x = a \cdot T + b),$$

*Логистическая функция.*

$$d \cdot T + f = \ln(1/FL(T) - 1) = YL(T) \quad (\text{здесь } d = -1/b; f = a/b).$$

Результаты регрессионного анализа приведены на рисунках 3 – 5.

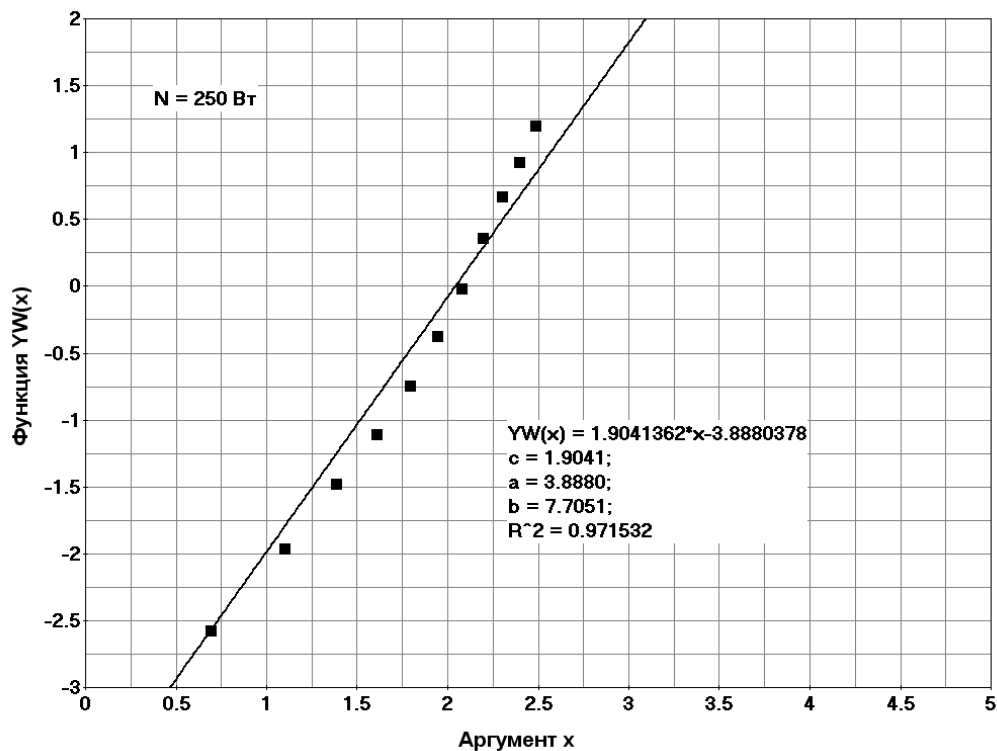


Рис. 3. Регрессионное уравнение для функции Вейбулла

На рисунке 6 приведены результаты аппроксимации экспериментальных данных с использованием альтернативных распределений. Их анализ показывает, что в диапазоне значений  $F$  от 0 до 0.5 (технологически целесообразный диапазон влажности) лучшие результаты дает логистическая функция. Это подтверждает и коэффициент детерминации, который максимален для этого распределения (см. рисунок 6).

Определившись с приемлемой альтернативой  $F(T) = FL(T)$ , можно, в соответствии с (1), перейти непосредственно к модели прибора

$$V(T, N) = [V_{\max}(N) - V_{\min}(N)] \cdot FL(T, N) + V_{\min}(N) =$$

$$[V_{\max}(N) - V_{\min}(N)] / [1 + \exp(-(T + a(N)/b(N)))] + V_{\min}(N) \quad (2)$$

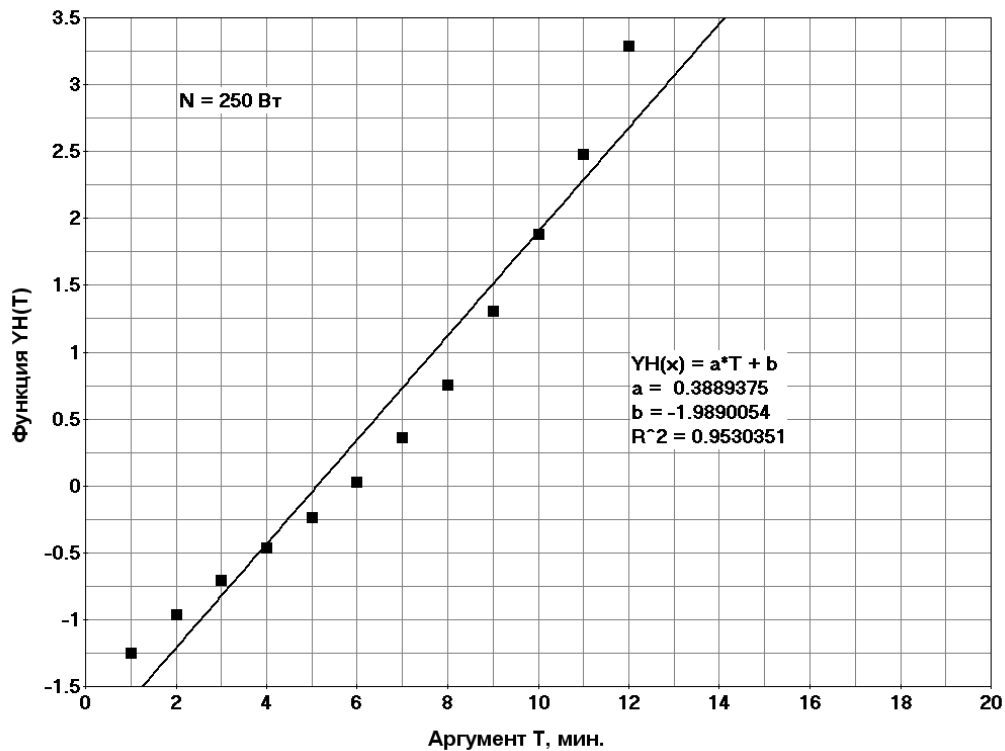


Рис. 4. Регрессионное уравнение для функции Харрингтона

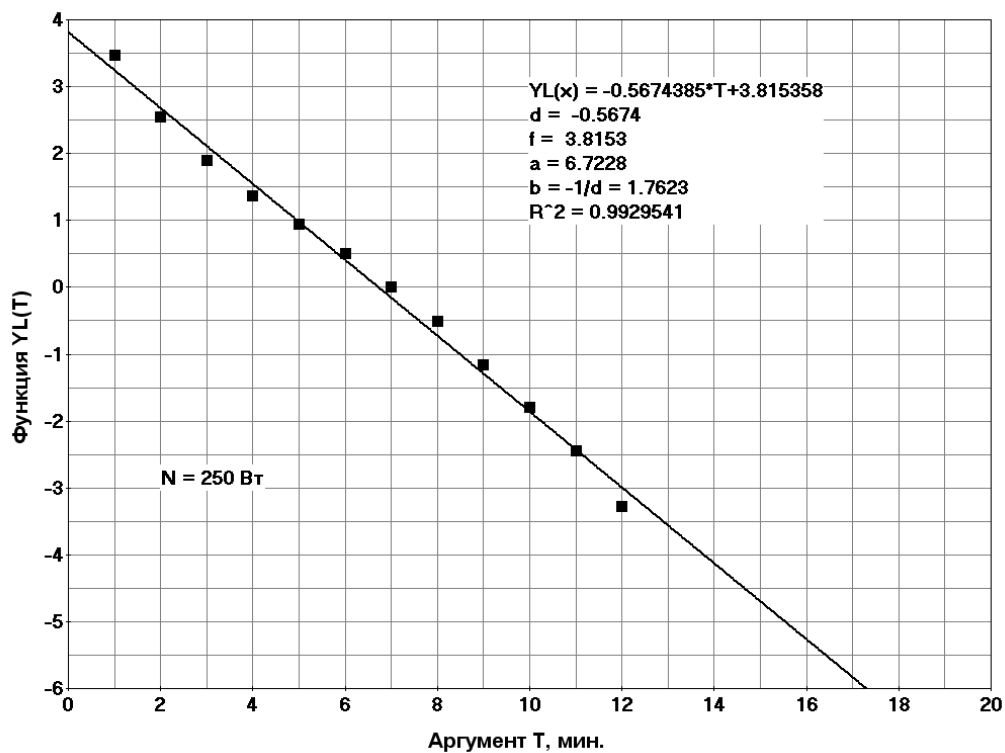


Рис. 5. Регрессионное уравнение для логистической функции



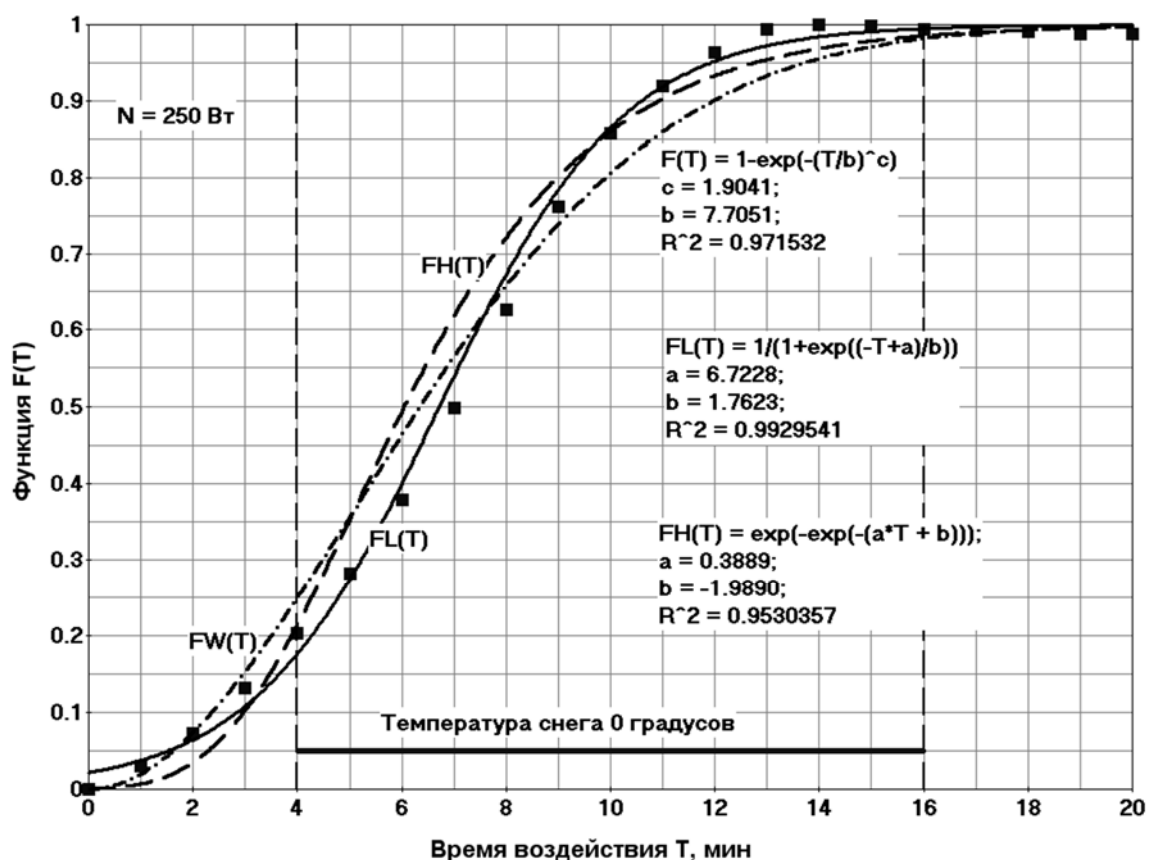


Рис. 6. Графики распределений  $F_W(T)$ ,  $F_H(T)$  и  $F_L(T)$

Значения переменных, зависящих от  $N$ , определяются для конкретного объема снежной пробы по результатам параметрической идентификации модели измерителя влажности снега.

Таблица

Результаты параметрической идентификации модели прибора  
для снежной пробы объемом  $0.002 \text{ м}^3$

| $N$ , Вт | $V_{\max}(N)$ | $V_{\min}(N)$ | $a(N)$  | $b(N)$ | $R^2$  |
|----------|---------------|---------------|---------|--------|--------|
| 100      | 4.73          | 0.05          | 31.1662 | 5.5094 | 0.9704 |
| 150      | 10.8          | 0.84          | 12.6881 | 3.3707 | 0.9692 |
| 200      | 14.72         | 2.22          | 10.0854 | 2.6155 | 0.9818 |
| 250      | 15.86         | 4.64          | 6.7228  | 1.7623 | 0.9929 |

### Список литературы

1. Патент РФ на изобретение №2291414. Бюл. № 1 от 10.01.2007.

## ПЕРЕХОД ВЕДОМОГО КОЛЕСА В КАЧЕНИЕ ПРИ ТРОГАНИИ АВТОМОБИЛЯ С МЕСТА

*В.И. Коптилов*

*Тюмень, Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова*

Неподвижное колесо, испытывающее осевую нагрузку  $G_k$ , передаёт её на опорную поверхность в виде распределённой силы, эпюра которой имеет симметричный характер (рис.1). При таком распределении точка приложения вектора нормальной реакции опорной поверхности располагается в центре  $A$  пятна контакта, а линия её действия пересекает ось  $O$  вращения колеса.

Чтобы вызвать качение ведомого колеса к нему, как и любому другому неподвижному катку, необходимо приложить продольное толкающее усилие  $P_x$ . У автомобильного колеса такое усилие прикладывает к его оси  $O$  вращения, со стороны рамы (корпуса) самого автомобиля.

Однако, приложение к колесу толкающего усилия  $P_x$ , как известно, не сразу приводит колесо в качение. Для этого необходимо, чтобы величина усилия  $P_x$  была достаточной, чтобы преодолеть силу сопротивление качению  $P_f$  [2].

Рассмотрим процесс трогания ведомого колеса с силовой точки зрения.

Прикладываемая корпусом сила  $P_x$  стремится сдвинуть колесо в направлении своего действия. Однако, колесо, прижатое к опорной поверхности сопротивляется этому, т.к. в пятне контакта к нему прикладывается сила трения (рис.2), т.е. продольная реакция  $R_z$  дороги, по величине равная толкающему усилию  $P_x$ . При этом две силы образуют пару, которая, будучи приложенной к колесу, стремится вызвать его вращение вокруг неподвижной оси, проходящей через центр  $A$ , которая располагается в плоскости дороги параллельно оси вращения колеса. Однако, чтобы колесо перешло в качение, момент пары

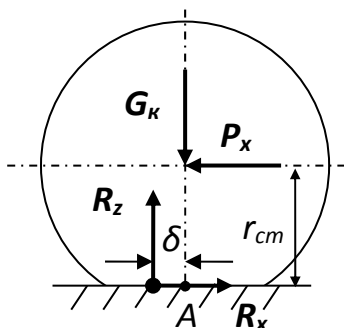
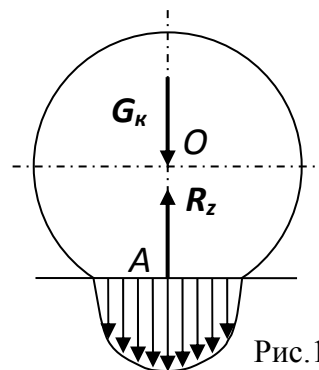


Рис. 2

$$M_o = P_x r_{cm} \quad (1)$$

должен быть достаточным, чтобы преодолеть момент  $M_f$  сопротивление качению. Рассмотрим вопрос, откуда берётся пара сил, создающая

момент  $M_f$ , если колесо, снабжённое упругой шиной, находится на жесткой недеформируемой дорожной поверхности.

Исследования процессов качения колеса показывают, что при его движении по жёсткой опорной поверхности сопротивление перекатыванию – это результат гистерезисных явлений [1]. Наличие сил внутреннего трения приводит к тому, что при радиальной деформации шины их разная направленность в передней и задней части кругового сегмента шины, контактирующего с дорогой приводит к перераспределению сил нормального давления шины на дорожную поверхность. При этом большее давление шины в передней части пятна контакта порождает и большее значение нормальной реакции. Это приводит к тому, что точка приложения равнодействующей  $R_z$  смещается на некоторое расстояние  $\delta$  в направлении вектора силы  $P_x$ , т.е. в сторону предстоящего движения колеса (рис. 2). Образующееся плечо  $\delta$  пары сил  $R_z$  и  $G_k$  и создаёт указанный момент сопротивления качению.

Однако, когда колесо покоится, то момент сопротивления качению объяснить проявлением эффекта гистерезиса невозможно, т.к. циклы радиальной деформации шины в зоне контакта отсутствуют. Следовательно, механизм образования момента  $M_f$  сопротивления качению колеса и смещение  $\delta$  вектора нормальной реакции  $R_z$  в статическом положении, носит, по-видимому, не гистерезисный, а совсем другой характер.

Действие продольного усилия  $P_x$ , прикладываемого к оси колеса, эквивалентно паре сил с моментом  $M_o = r_{cm} P_x = r_{cm} R_x$  и силе  $P_x'$ , действующей в плоскости пятна контакта.

Последняя вызывает продольную реакцию  $R_x$  опорной поверхности, которая уравнивает прикладываемую силу ( $R_x + P_x = 0$ ). Это предохраняет колесо от продольного скольжения.

Пара сил с моментом  $M_o$  стремится повернуть колесо вокруг неподвижной поперечной оси  $A$ , лежащей в плоскости дороги. Именно эта пара сил и вызывает перераспределение сил давления в пятне контакта. В этом легко убедиться, если учесть, что указанная пара эквивалентна системе двух параллельных вертикальных сил (рис. 3).

Таким образом, приложение к оси неподвижного ведомого колеса продольной толкающей силы  $P_x$  приводит к перераспределению сил давления колеса на опорную поверхность, в результате чего, точка приложения вектора нормальной реакции смещается на некоторую величину  $\delta$ , которая играет роль плеча сил  $R_z$  и  $G_k$ , образующих пару. Момент этой пары создаёт статический момент сопротивления качению коле-

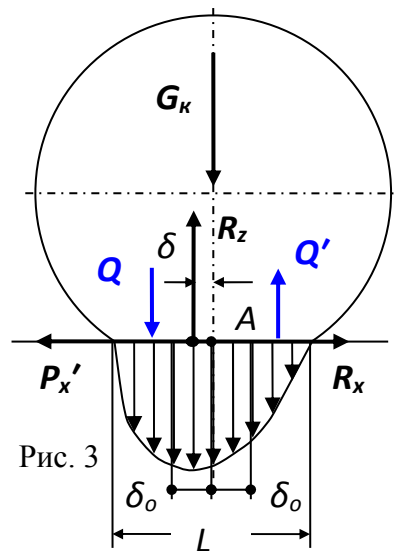


Рис. 3

са  $M_f$ , который противодействует моменту  $M_o$  толкающей силы. Поскольку момент  $M_o$  прямо пропорционален толкающей силе  $P_x$  и уравнивается моментом  $M_f = \delta R_z = \delta G_k$ , то и величина смещения

$$\delta = r_{cm} \frac{P_x}{G_k} \quad (2)$$

всегда такая, которая обеспечивает сохранение равновесия моментов и покой колеса.

Сохранение равновесия колеса продолжается до тех пор, пока плечо  $\delta$  нормальной реакции  $R_z$  не достигнет некоторого предельного значения  $\delta_o$ , при котором линейное нарастание плеча силы  $R_z$  прекращается и наступает его стабилизация или относительно медленное приращение (рис. 4).

Существование предельного значения  $\delta_o$  объясняется тем, что такое упругое тело как пневматическая шина, имея зону контакта длиной  $L$ , не может распределять своё давление на опорную плоскость так, чтобы центр давления был близок к краю этой зоны. Центр давления всегда располагается достаточно далеко от края и гораздо ближе к центру  $A$ , т.е. в пределах  $\pm \delta_o$  (рис. 3).

Можно предположить, что величина  $\delta_o$  составляет определённую долю от длины  $L$  пятна контакта, т.е.

$$\delta_o = \gamma L, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – эмпирический коэффициент, характеризующий свойства упругой шины.

Если учесть, что длина пятна контакта шины связана с величиной осевой нагрузки и её номинальными характеристиками определённой зависимостью [3], то величину  $\delta_o$  можно выразить формулой:

$$\delta_o = 2\gamma r_o \sqrt{1 - \left(1 - \frac{G_k + h_{zo} c_z}{r_o c_z}\right)^2}, \quad (4)$$

где  $r_o$  – свободный радиус колеса;

$h_{zo}$  – условная деформация шины, соответствующая нулевой нагрузке;

$c_z$  – радиальная жёсткость шины.

При превышении  $P_x$  критического для колеса значения  $P_x^{kp}$ , равного

$$P_x^{kp} = \delta_o \frac{G_k}{r_{cm}}, \quad (5)$$

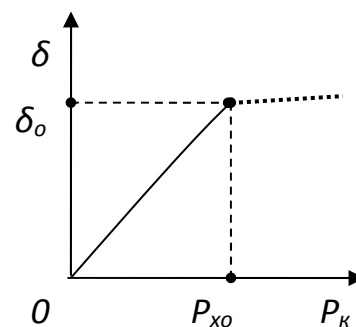


Рис. 4

переход колеса в качение становится неизбежным.

Из формулы (5) следует, что при прочих равных условиях критическое значение толкающей силы тем больше, чем больше осевая нагрузка на колесо.

### Список литературы

1. Работа автомобильной шины. Под ред. В.И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
2. Коптилов В.И. Сила сопротивления качению и механизм её образования // Грузовик.- 2014. - № 12. - С. 10–15.
3. Коптилов В.И. Кинематический радиус ведущего колеса автомобиля // Научный сборник: Материалы научно-исследовательской работы (1-е полугодие 2014 г.).- Тюмень: ТВВИКУ, 2014. – с. 224-229.

УДК 656.13

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕНИЯ УПРУГОГО КОЛЕСА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ЖЁСТКОЙ ОСНОВЕ

*В.И. Коптилов*

*Тюмень, Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова*

В процессе движения транспортной машины её колеса, оснащённые упругими шинами, подвергаются воздействию различных внешних и внутренних сил, которые вызывают радиальные и тангенциальные деформации шин и определяют силовые и кинематические параметры их качения.

Наиболее надёжную информацию о параметрах качения колеса даёт феноменологический способ их определения, который основан на использовании уравнений силового и мощностного баланса, достоверность которых при правильном составлении не вызывает никаких сомнений.

Мощность  $N_k$ , подводимая к ведущему колесу машины при её равномерном движении, численно равна мощности всех сил сопротивления качению, т.е. мощности сил внутреннего ( $N_{in}$ ) и внешнего ( $N_s$ ) трения шины, а также мощности силы сопротивления корпуса ( $N_o$ ), которая определяется произведением скорости  $V_o$  движения оси колеса (и колёсной машины) на величину силы  $P_x$  сопротивления корпуса, т.е.  $N_o = P_x V_o$ .

При этом величина мощности  $N_{in}$ , теряемой из-за трения, складывается из двух частей, одна из которых ( $N_{in}^r$ ) обусловлена радиальной деформацией шины в зоне контакта, а другая ( $N_{in}^t$ ) – её тангенциальной. Считается, что потери мощности при радиальной деформации шины ( $N_{in}^r$ ) непосредственно связаны с возникновением продольного сноса вектора  $\mathbf{R}_z$

нормальной реакции дороги и образованием момента  $M_f$  сопротивления качению, развивающего мощность  $N_f = N_{u'}^r$ .

Учитывая сказанное, уравнение мощностного баланса ведущего колеса при его равномерном качении можно представить в следующем виде:

$$M_k \omega_k = N_f + N_{u'}^r + N_s + P_x V_o, \quad (1)$$

где  $M_k$  - крутящий момент, подводимый к колесу;  $N_f$  - мощность, теряемая колесом при его качении из-за гистерезисных явлений, возникающих вследствие радиальной деформации шины (мощность сопротивления качению);  $\omega_k$  - угловая скорость колеса.

Уравнение силового баланса (точнее, уравнение моментов) применительно к такому же режиму качения записывает в следующем виде:

$$M_k = R_z a_{u'} + P_x r_d, \quad (2)$$

где  $a_{u'}$  - смещение вектора нормальной реакции опорной поверхности, обусловленное гистерезисными явлениями, возникающими вследствие радиальной деформации шины;  $r_d$  - динамический радиус колеса.

Вычитая из уравнения (1) второе уравнение, предварительно умноженное на угловую скорость вращения колеса, получим новое уравнение

$$N_s + N_{u'}^r + P_x V_o - P_x r_d \omega_k = 0.$$

Решая это уравнение относительно  $N_s$  с учётом того, что скорость колеса  $V_a = r_k \omega_k$ , а продольное усилие корпуса  $P_x = R_x$ , в итоге получим формулу, выражающую мощность сил трения в пятне контакта и внутренних сил трения, возникающих в шине вследствие её скручивания:

$$N_s + N_{u'}^r = R_x \omega_k (r_d - r_k), \quad (3).$$

где  $r_k$  - кинематический радиус колеса;  $R_x$  - продольная реакция опорной поверхности.

Из формулы (3) вытекает, что

$$r_k = r_d \left[ 1 - \frac{N_s + N_{u'}^r}{r_d \omega_k R_k} \right] \quad (N_s > 0) \quad (4)$$

Если крутящий момент, подводимый к колесу мал или отсутствует вообще, то потери от проскальзывания колеса и тангенциальных деформаций шины минимальны ( $N_s + N_{u'}^r \sim 0$ ). В этом случае движение колеса близко к «чистому качению». Как следует из полученной формулы, при таком режиме качения  $r_k \approx r_d$ , а скорость  $V_{oo}$  движения оси колеса

$$V_{oo} = r_k^o \omega_k \approx r_d \omega_k, \quad (5)$$

где  $r_k^o$  – кинематический радиус колеса при отсутствии проскальзываний и тангенциальных деформаций шины, т.е. при «чистом качении».

При равномерном качении ведущего колеса продольная реакция дороги выражается формулой [1]:

$$R_x = M_x / r_d - M_f / r_d, \quad (6)$$

Подставляя в формулу (3) вместо  $R_x$  выражение (6), получим

$$N_s + N_{u\tau} = (M_x - M_f) \omega_k (r_d - r_k) / r_d \quad (N_s > 0). \quad (7)$$

Из полученной формулы (7) следует, что при приближении ведущего режима качения колеса к свободному ( $M_x \rightarrow M_f$  и  $r_k \rightarrow r_d$ ) величина мощности, теряемой вследствие проскальзывания шины и её тангенциальных деформаций, приближается к нулю ( $N_s \rightarrow 0$ ). Это означает, что с точки зрения механических потерь свободный режим качения колеса – самый экономичный.

При переходе колеса в тяговый режим ( $M_x - M_f > 0$ ) мощность сил трения в пятне контакта и в шине с увеличением крутящего момента нарастает. При этом динамический радиус колеса становится больше кинематического ( $r_d > r_k$ ) и эта разница в значениях увеличивается.

Уменьшение радиуса качения  $r_k$  при увеличении крутящего момента  $M_k$  при практически неизменном динамическом радиусе ( $r_d \approx const$ ) означает, что линейная скорость колеса оказывается меньше той, которая могла быть, если бы в пятне контакта шины отсутствовали проскальзывания, а сама шины не подвергалась бы скручиванию. При этом абсолютная потеря линейной скорости колеса составляет

$$\Delta V_o = V_{oo} - V_o = \omega_k (r_k^o - r_k) = \omega_k (r_d - r_k), \quad (8)$$

а относительная потеря

$$\delta = \frac{\Delta V_o}{V_{oo}} = \frac{\omega_k (r_k^o - r_k)}{\omega_k r_k^o} = 1 - \frac{r_k}{r_k^o} = 1 - \frac{r_k}{r_d}. \quad (9)$$

Учитывая (9), величину скорости движения ведущего колеса автомобиля можно выразить формулой

$$V_o = \omega_k r_d (1 - \delta). \quad (10)$$

Если ведущее колесо, получая максимальный по сцеплению с дорогой крутящий момент

$$M_k = r_d R_z \phi_x, \quad (11)$$

остаётся на месте и буксует, то мощность сил трения в пятне контакта

$$N_s = R_x \cdot V_s = R_z \phi_x \cdot \omega_k r_d, \quad (12)$$

а кинематический радиус такого колеса

$$r_k = r_d \left[ 1 - \frac{N_s + N_{\text{ш}}^{\tau}}{\omega_k R_x r_d} \right] \approx r_d \left[ 1 - \frac{R_z \varphi_x \omega_k r_d}{\omega_k R_z \varphi_x r_d} \right] = 0. \quad (13)$$

Если к колесу прикладывается тормозной момент ( $M_{\text{тор}} = -M_k < 0$ ), то из формул (5) и (6) вытекает, что при торможении кинематический радиус колеса становится больше динамического ( $r_k > r_d$ ).

Для такого режима качения колеса формулу (6) в целях наглядности лучше представить в таком виде:

$$r_k = r_d \left[ 1 + \frac{N_s + N_{\text{ш}}^{\tau}}{\omega_k (M_{\text{тор}} + M_f)} \right] \quad (N_s > 0) \quad (14)$$

Из формулы (14) следует, что при интенсивном торможении и переходе колеса в блокируемое состояние и юз, т.е. когда продольная реакция достигает предела по сцеплению  $R_x = R_z \varphi_x$ , крутящий момент  $M_{\text{тор}} = R_z \varphi_x r_d$ , скорость скольжения  $V_s = V_o$  ( $V_o \neq 0$ ), мощность сил трения  $N_s = R_x V_s = R_z \varphi_x V_o$ , а его угловая скорость  $\omega_k \rightarrow 0$ , кинематический радиус колеса

$$r_k = r_d \left[ 1 + \frac{N_s + N_{\text{ш}}^{\tau}}{\omega_k (M_{\text{тор}} + M_f)} \right] = r_d \left[ 1 + \frac{R_z \varphi_x V_o}{\omega_k R_z \varphi_x r_d} \right] = r_d \left[ 1 + \frac{V_o}{\omega_k r_d} \right] \rightarrow \infty. \quad (15)$$

Заметим, что полное соответствие следствий (13) и (15), вытекающих соответственно из (4) и (14), установленной ГОСТ 16350-72 формуле кинематического радиуса колеса ( $r_k = V_o / \omega_k$ ), означает, что полученные формулы (4) и (14) совершенно адекватно отражают процесс изменения радиуса качения  $r_k$  не только при различных скоростных и нагрузочных режимах движения колеса, но даже в предельных случаях его работы.

Рассмотрим аналогичные параметры качения, свойственные ведомому колесу транспортной машины, уравнение мощностного баланса которого выражает уравнение

$$P_x V_o = R_z a_{\text{ш}} \omega_k + N_s, \quad (16)$$

а уравнение моментов

$$P_x r_d = R_z a_{\text{ш}}. \quad (17)$$

Решая совместно уравнения (16) и (17), можно получить формулу мощности сил трения ведомого колеса в пятне контакта:

$$N_s = P_x \omega_k (r_k - r_d) \quad (N_s > 0). \quad (18)$$

Исходя из (18), можно выразить кинематический радиус колеса

$$r_k = r_d \left( 1 + \frac{N_s}{P_x r_d \omega_k} \right) \quad (N_s > 0). \quad (19)$$



Из формул (18) и (19) следует, что кинематический радиус ведомого колеса всегда больше его динамического.

$$r_k = r_\partial \left( 1 + \frac{R_x V_s}{P_x r_\partial \omega_k} \right) = r_\partial \left( 1 + \frac{V_s}{r_\partial \omega_k} \right). \quad (20)$$

Из экспериментов известно, что ведомого колеса значение  $V_s$  невелико, вследствие чего радиус качения лишь не намного превышает его динамический радиус. Это полностью согласуется с результатами исследований радиусов колес, работающих в ведомом режиме. По данным [2], для шин транспортных автомобилей кинематический радиус ведомого колеса в 1,03-1,06 раза больше его динамического радиуса [2, с.18], т.е.  $r_k \approx r_\partial$ .

Поделив мощность (16) сил трения в пятне контакта на величину сил трения  $R_x = P_x$ , получим величину средней скорости скольжения элементов шины, находящихся в пятне контакта:

$$V_s = \omega_k (r_k - r_\partial). \quad (21)$$

Если отнести скорость проскальзывания  $V_s$  шины к линейной скорости  $V_{oo}$  движения колеса при «чистом качении», то получим коэффициент относительного проскальзывания  $\delta = V_s / V_{oo}$ . Для ведомого колеса его значение определяется соотношением радиусов:

$$\delta = \frac{r_k}{r_\partial} - 1. \quad (22)$$

Из последней формулы следует, что линейная скорость перемещения оси ведомого колеса

$$V_o = \omega_k r_\partial (1 + \delta). \quad (23)$$

Все выше приведённые формулы являются следствием из уравнений мощностного и силового баланса, т.е. являются теоретическими и получены без всяких допущений, которые могли бы поставить под сомнение их достоверность.

## Список литературы

1. Коптилов В.И. Автомобили: Теоретические основы: Учебное пособие для вузов. - Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. - 403 с.
2. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 478 с.

## АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ СИЛОВОГО И МОЩНОСТНОГО БАЛАНСА ВЕДУЩЕГО КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ

*В.И. Копотилов<sup>1</sup>, Л.Б. Пархоменко<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Тюмень, Тюменское высшее военное инженерное командное училище (военный институт) имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова*

*<sup>2</sup>Екатеринбург, ОАО «Инженерный центр энергетики Урала»*

Рассматривая проблемы теории качения автомобильного колеса, В.А. Петрушов пришёл к выводу [1], что в ней имеются определённые противоречия. Одно из таких противоречий, которые усмотрел автор, состоит в том, что уравнения мощностного и силового баланса колеса дают, по утверждению автора, разную оценку сопротивления качению.

Обратимся к уравнениям, которые рассматривает Петрушов В.А.

Исходя из уравнения мощностного баланса, автор выражает мощность сопротивления качению ведущего колеса как разницу подводимой и отводимой мощности [1, с.12]:

$$N_f = M_k \omega_k - X V_a, \quad (1)$$

где  $M_k$  – крутящий момент, подводимый к колесу;  $N_f$  – мощность, теряемая колесом при его качении (мощность сопротивления качению);  $\omega_k$  – угловая скорость колеса;  $V_a$  – линейная скорость колеса;  $X$  – продольно усилие, прикладываемое к колесу со стороны корпуса.

Если эту мощность  $N_f$  сопротивления качению поделить на угловую скорость  $\omega_k$  вращения колеса и учесть, что  $V_a / \omega_k = r_k$ , то момент сопротивления качению выразится формулой

$$M_f = M_k - X r_k, \quad (2)$$

где  $r_k$  – кинематический радиус колеса.

Уравнения силового баланса (точнее, уравнения моментов) применительно к такому же режиму качения Петрушов В.А. записывает в следующем виде:

$$G_k b = M_k - X r_d, \quad (3)$$

где  $b$  – снос вектора нормальной реакции  $Z_k$  дороги.

Если же принять, что произведение одной из сил пары  $Z_k$  -  $G_k$  на плечо пары ( $b$ ), т.е.  $M_f = G_k b = Z_k b$ , – это момент сопротивления качению, то из уравнения (3) вытекает уже другое выражение момента сопротивления качению:

$$M_f = M_k - Xr_{\partial}. \quad (4)$$

Так как при качении ведущего колеса  $r_{\partial} \neq r_k$ , то автор заключает, что момент сопротивления качению (2), получаемый из уравнения мощностного баланса (1) не таков как момент (4), получаемый из уравнения силового баланса (3). При этом разницу в моментах, получаемых соответственно из уравнения мощностного и силового балансов, выражается формулой:

$$\Delta M_f = X(r_{\partial} - r_k). \quad (5)$$

Так как расхождения в радиусах иногда достигает 15-25% , то это, указывает В.А.Петрушов, «... предопределяет значительные отличия в величинах моментов сопротивления качению, ... и соответственно в величинах силы  $P_f$  сопротивления качению и коэффициента  $f$ » [1, с.13].

Ссылаясь на исследования В.И. Новопольского, автор утверждает даже, что «... для ведомого колеса с эластичной шиной плечо сопротивления качению, определённое подсчётом по затратам мощности на перекачивание, почти в 2 раза превышает ту же величину, определённую методом измерения действующих усилий» [1, с. 13].

Не касаясь спорности количественных оценок различия сил и моментов сопротивления качению, которые приводит В.А.Петрушов, рассмотрим сам факт отмеченного им противоречия и попытаемся разобраться в его причинах.

На наш взгляд, причина указанного противоречия – это неправильное толкование физического смысла показателя крутящего момента  $M_f$ , входящего в уравнение (2) и получаемого от деления мощности  $N_f$  сопротивления качению на угловую скорость  $\omega_k$  вращения колеса ( $M_f = N_f / \omega_k$ ). Указанная величина – это условный момент сопротивления качению, вызванный как физическим сносом вектора нормальной реакции вследствие гистерезиса, так и условным сносом, обусловленным трением скольжения в пятне контакта. Он отличается от момента сопротивления  $M_f = bG_k = bZ$ , входящего в уравнение (4), т.к. последний определяется физическим сносом нормальной реакции на величину  $b$ .

Покажем, что при правильном составлении уравнения мощностного баланса никакого противоречия между ним и уравнением силового баланса нет.

Из результатов экспериментальных исследований, выполненных Е.И. Чудаковым [2, 3], И.Н. Чернышевым [4] и некоторыми другими исследователями, известно, что у ведущего колеса динамический радиус больше кинематического. Чернышев И.Н. утверждает, что отклонение кинематического радиуса от динамического обусловлено проскальзыванием колеса по опорной поверхности. Автор отмечает, что при небольших крутящих моментах, радиус качения фактически равен динамическому. При увеличении крутящего момента динамический радиус изменяется мало и его снижение имеет линейный характер. В отличие от него, снижение кинематического радиуса с

возрастанием  $M_k$  происходит гораздо интенсивнее и «... разница между динамическим радиусом и радиусом качения резко увеличивается». Чернышев И.Н. утверждает, что «Резкое падение  $r_k$  с увеличением тяговой силы происходит вследствие проскальзывания элементов беговой дорожки шины по плоскости» [4]. Чтобы подтвердить это, автор проделал опыт по движению шины по опорной поверхности с острыми кромками, которые врезаются в выступы протектора и препятствуют их скольжению. В результате автор установил, что в довольно широком диапазоне крутящего момента «радиус качения практически равен динамическому радиусу». И лишь при таком крутящем моменте, когда острые кромки начинают срезать поверхность выступов беговой дорожки, радиус качения начинает уменьшаться.

Обратимся к моментам  $M_f = N_f / \omega_k$  и  $M_f = bG_k = bZ$  и рассмотрим вопрос о том, в чём заключаются разница в действии указанных моментов

Крутящий момент  $M_f = N_f / \omega_k$  отражает работу не только внутренних сил трения в шине, т.е. гистерезисные потери, но и работу сил трения в пятне контакта. Следовательно,  $N_f$  в уравнении мощностного баланса (1) представляет фактически сумму двух мощностей: момента сопротивления качению и сил трения проскальзывания шины относительно опорной поверхности, т.е.

$$N_f = N_{fo} + N_s. \quad (6)$$

Мощность  $N_{fo}$  момента сопротивления качению  $M_f = bR_z$ , равная

$$N_{fo} = M_f \omega_k = bR_z \omega_k, \quad (7)$$

образуется из-за физического смещения вектора нормальной реакции вследствие действия сил внутреннего трения в шине.

Мощность  $N_s$  сил трения скольжения шины определяется продольной реакцией дороги и средней скоростью проскальзывания:

$$N_s = R_x V_s. \quad (8)$$

где  $R_x$  – продольная реакция опорной поверхности, т.е. сила трения скольжения;  $V_s$  – средняя скорость проскальзывания.

Как известно, скорость проскальзывания протектора определяется разницей динамического и кинематического радиуса колеса [4, 5]:

$$V_s = \omega_k (r_d - r_k). \quad (9)$$

Если подставить выражение скорости проскальзывания (9) в формулу (8), то получим мощность сил трения в пятне контакта:

$$N_s = R_x \omega_k (r_d - r_k). \quad (10)$$

Если учесть отдельно друг от друга мощность момента сопротивления качению (7) и сил трения в пятне контакта (10), то уравнение мощностного

баланса ведущего колеса при его равномерном качении будет выражаться следующим образом:

$$M_{\kappa} \omega_{\kappa} = bR_x \omega_{\kappa} + R_x \omega_{\kappa} (r_{\partial} - r_{\kappa}) + X V_a. \quad (11)$$

Так как при равномерном качении колеса  $X = R_x$ , а его линейная скорость  $V_a = \omega_{\kappa} r_{\kappa}$ , то полученное уравнение (11) легко сводится к следующему виду:

$$M_{\kappa} = bR_z + R_x r_{\partial}. \quad (13)$$

Уравнение моментов (13), полученное из такого уравнения мощностного баланса (11), в полной мере соответствует уравнению (5).

Таким анализ показывает, что обнаруженное В.А. Петрушовым «противоречие» между уравнением мощностного и силового баланса фактически мнимое. Оно есть не что иное, как результат неправильного понимания сущности двух моментов: момента  $M_f = N_f / \omega_{\kappa}$  и момента  $M_f = bG_{\kappa} = bZ$  и их неправомерного отождествления. Первый момент – это условный (приведённый) момент, а второй – физический, обусловленный сносом нормальной реакции дороги.

#### Список литературы

1. Петрушов В.А., Московкин В.В., Евграфов А.Н. Мощностной баланс автомобиля.- М.: Машиностроение, 1984. - 160 с.
2. Чудаков Е.А. Качение автомобильного колеса //Труды Автомобильной лаборатории ИМ АН СССР, вып. 9. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1948.- 200 с.
3. Чудаков Е.А. Качение автомобильного колеса.- М.: Машгиз, 1947. - 70 с.
4. Чернышев И.Н. Влияние крутящего момента на динамический радиус качения автомобильного колеса // Автомобильная промышленность, 1954, № 4.- с. 15 - 18.
5. Коптилов В.И. Теоретический анализ радиусов ведущего колеса автомобиля // Грузовик, 2013, № 2. - с. 34 - 39.

УДК 625.7/.8

### **«ДИАТОМИК» – НОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА УЧАСТКАХ БОЛОТИСТОЙ МЕСТНОСТИ**

*Коротков Е.А.<sup>1</sup>, Иванов К.С.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Тюмень, АНО «Губернская академия», <sup>2</sup>Тюмень, Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук*

#### **Введение**

Территория Западной Сибири характеризуется крайне высокой степенью заболоченности (общая площадь заболоченной территории

составляет более 800 тыс. км<sup>2</sup>). Средняя заболоченность всей равнины - 30 %, бассейна р. Оби - 25%, Васюганья - 70%. Повсеместное заболачивание территории Западной Сибири обусловлено равнинным характером местности и низкой степенью расчлененности рельефа; только отдельные участки в долинах крупных рек хорошо дренируются овражно-балочной сетью [1].

Широкое распространение болотных ландшафтов в пределах Тюменской области, ХМАО и ЯНАО, особые физико-механические свойства торфа определяют важность совершенствования методов строительства автомобильных дорог и других линейных объектов транспортной инфраструктуры на участках с повышенным гидроморфизмом. Кроме того, значительная часть районов разрабатываемых и перспективных месторождений углеводородного сырья Западной Сибири приурочена к районам с высокой степенью заболоченности.

Опыт строительства земляного полотна автомобильных дорог на заболоченных территориях Западной Сибири показывает, что срок их службы значительно меньше нормативного, а стоимость ремонта и содержания дорог очень часто превосходит затраты на строительство [2,3].

Повышение качества и долговечности автомобильных дорог в условиях Западной Сибири предполагает использование современных строительных материалов, ориентированных на местную сырьевую базу.

### **Гранулированный теплоизоляционный материал «ДиатомИК»**

Гранулированный теплоизоляционный материал «ДиатомИК» - пористый пеносиликатный гравийный материал фракций 5-10, 10-20, 20-40 мм (рис.1).

В качестве исходного сырья для производства материала могут быть использованы диатомиты, трепелы, и опоки Западно-Сибирской провинции опал-кристоболлитовых пород.

В основе запатентованной технологии производства материала лежит процесс вспенивания подготовленного сырья во вращающейся печи при температуре 800<sup>0</sup>С [4,5].

Полученный материал имеет следующий набор характеристик и преимуществ [6]:

1. Низкое водопоглощение (менее 6% по объему);
2. Высокая морозостойкость материала (1,1% потери массы при 15 циклах замораживания);
3. Достаточно высокая прочность (прочность при сжатии - 0,8-2,8 МПа в зависимости от фракции);
4. Насыпная плотность - 200-350 кг/м<sup>3</sup>;
5. Высокие теплоизоляционные характеристики - 0,07-0,1 Вт/(м\*К).



Рис.1 ГТМ «ДиатомИК»

Экономический эффект от использования нового материала в транспортном строительстве регионов Западной Сибири может быть достигнут за счет ориентированности производства ГТМ «ДиатомИК» на местную сырьевую базу.

Так, только в пределах Новоуренгойской площади, расположенной в непосредственной близости от Нового Уренгоя выявлены запасы кремнистого сырья общим объемом более 400 млн м<sup>3</sup>. Последние исследования подтвердили высокую степень пригодности диатомитов и диатомовых глин Ямала для производства ГТМ «ДиатомИК» [7].

#### **Новые дорожные конструкции с применением ГТМ «ДиатомИК» для участков с болотистым типом местности**

Малая насыпная плотность ГТМ «ДиатомИК» (в отличие от других видов материалов применяемых для отсыпки в дорожном строительстве) позволяет обеспечить строительство дорог с дополнительным запасом прочности на просадочных, слабых грунтах.

Ниже представлены несколько возможных вариантов облегченных дорожных конструкций с применением ГТМ «ДиатомИК» для участков с болотистым типом местности (рис. 2-4).

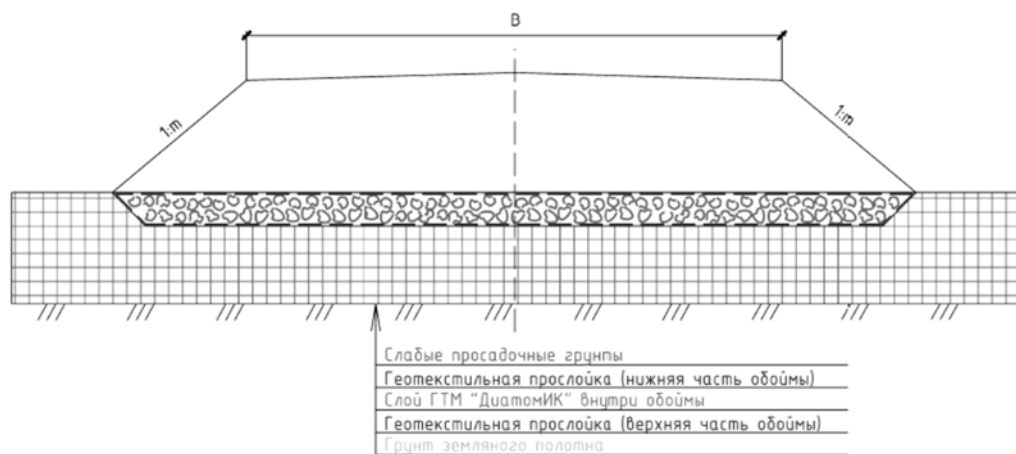


Рис.2 Дорожная насыпь с заменой неустойчивых просадочных грунтов основания на теплоизоляционно-дренирующий слой ГТМ «ДиатомИК»

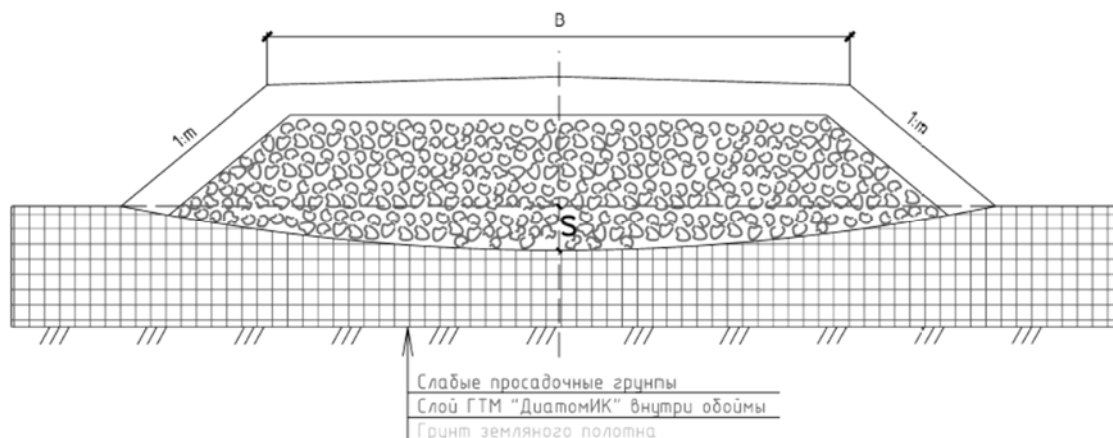


Рис. 3 Облегченная насыпь с ядром из ГТМ «ДиатомИК» на неустойчивых грунтах основания

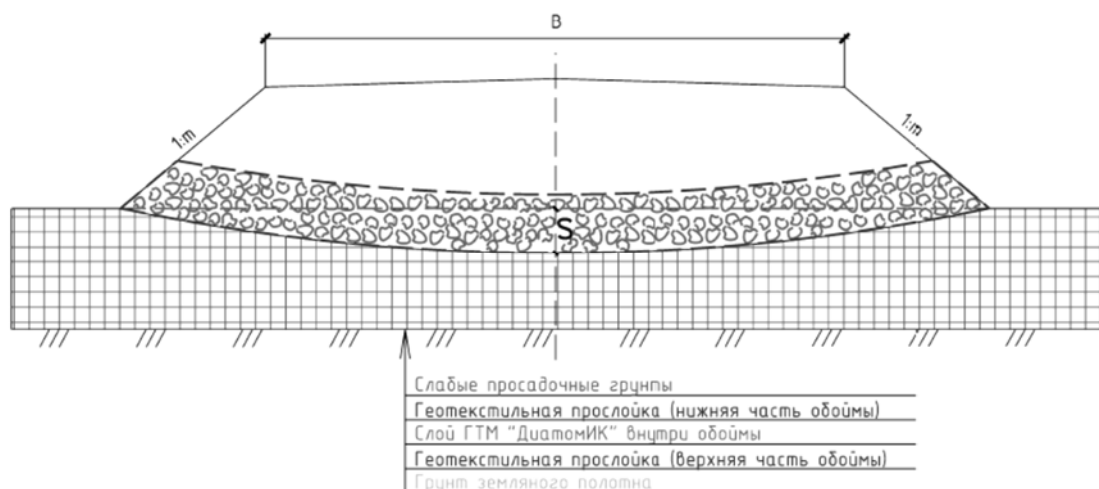


Рис.4 Облегченная насыпь с основанием из ГТМ «ДиатомИК» для строительства на болотистой местности



Использование ГТМ «ДиатомИК» при отсыпке насыпи на болотистой местности уменьшает нагрузку на слабые грунты основания, благодаря чему значительно снижается риск возникновения деформаций дорожного полотна и самой насыпи, за счет снижения общего веса дорожной конструкции (снижение общего веса конструкции в 7-10 раз и более при максимальном использовании материала) [8]. Кроме того, гранулированный теплоизоляционный материал в теле насыпи будет способствовать перераспределению колесной нагрузки по площади.

Низкий вес материала делает возможным его применение для организации противоэрозионных мероприятий. Например, при укреплении эрозионных берегов рек, набережных, подтопляемых насыпей (замена слабых грунтов склона ГТМ «ДиатомИК»).

### **Выводы**

Использование сверхлегких материалов, таких как ГТМ «ДиатомИК» позволяет практически исключить возможность осадки насыпи на этапе строительства, что позволяет устраивать слои дорожной одежды сразу после устройства насыпи, а не после ожидаемой осадки.

Сокращение сроков строительства за счет применения ГТМ «ДиатомИК» также является одним из аргументов в пользу использования материала при строительстве и реконструкции объектов транспортной инфраструктуры Западной Сибири.

Наличие местной сырьевой базы для производства ГТМ «ДиатомИК» значительно повышает экономический эффект от потенциального применения в дорожном строительстве.

### **Список литературы**

1. Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири.- М.: Наука.- 1977.-247 с
2. Перспективные транспортные конструкции и технологии при обустройстве месторождений ТНК-Уват/ Строительный вестник Тюменской области, Вып. 3 (61) 2012 - С 82-86/ Шуваев А.Н., Куюков С.А., Панова М.В., Маслов Д.В
3. Модельные испытания грунтовых насыпей на слабом основании Сборник материалов/ XII Научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей ТюмГАСУ. – РИО ТюмГАСУ, 2013. – С. 41-45/ Шуваев А.Н., Маслов Д.В
4. Иванов К.С. Новый изоляционный материал для термостабилизации грунтов // Криосфера Земли, 2011, т. XV, №4, с. 120 - 122.
5. K.S. Ivanov, S.S. Radaev, O.I. Selezneva Diatomites in granular foam-glass technology // Glass and Ceramics, Vol. 71, Nos. 5 - 6, September, 157 - 161, 2014.
6. Коротков Е.А., Константинов А.О., Мельникова А.А., Иванов К.С. «Диатомик» - новый теплоизоляционный материал для дорожного строительства в условиях криолитозоны // Вестник СИБАДИ, 2015, Вып. 1 (41), с. 55 - 61.
7. Смирнов П.В., Иванов К.С. Ресурсный потенциал бассейна р. Томчару-Яха на диатомовое сырье // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, №2 (22), 2015, с. 97-103
8. Frydenlund T. E., Aabøe R. Use of waste materials for lightweight fills / T. E.Frydenlund, R. Aabøe // International Workshop on Lightweight Geomaterials. – Tokyo, 2002.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ РЕМОНТЕ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

*В.Н. Красовский, В.В. Попцов, В.А. Корчагин*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Одним из наиболее перспективных видов ремонта агрегатов автомобилей в условиях концентрации и специализации авторемонтного производства является централизованный ремонт агрегатов по фактическому техническому состоянию. Специфика данного вида ремонта заключается в том, что формирование объемов и номенклатуры ремонтных воздействий для партий агрегатов осуществляется с учетом их фактического технического состояния, определяемого с помощью современных методов и средств контроля и диагностики.

Неопределенность технического состояния поступающего ремонтного фонда, а также существование некоторых отличных от нуля вероятностей ошибок 1-го (ложная неисправность) и 2-го (пропуск неисправности) рода при распознавании технического состояния составных частей ремонтируемого изделия обуславливают необходимость проведения контрольно-диагностических операций на всех стадиях ремонта изделий. При этом, если объем и номенклатура этих операций для каждого конкретного вида агрегата могут быть выявлены заранее и жестко регламентированы, то формирование их комплексов в зависимости от сложности ремонта и рациональное определение их между традиционно сложившимися в производстве подразделениями входного, операционного и приемочного контроля представляет собой сложную организационно-техническую и технологическую задачу, решение которой возможно лишь на основе тщательного анализа взаимосвязей оперативного, технологического и информационного характера между всеми структурными подразделениями, выполняющими функции контроля в производственном процессе. В данной статье рассматриваются некоторые организационные и методические предпосылки к разработке оптимальной стратегии формирования и рационального распределения комплексов контрольно-диагностических операций при централизованном ремонте агрегатов по фактическому техническому состоянию. При разработке модели учитывались основные положения и рекомендации, изложенные в работах [1] и [2]. Основное внимание при этом уделялось анализу и формированию взаимосвязей между структурными подразделениями внутри контрольно-диагностической системы (КДС), поэтому возможные взаимосвязи между КДС и прочими производственными и административно-управленческими подразделениями авторемонтного предприятия, а также между КДС и региональной системой эксплуата-

онного контроля указаны лишь ориентировочно.

Основными структурными подразделениями КДС являются участки и отделы, которые формируются по принципу функционально-целевого назначения. Учитывая рекомендации ГОСТ 24525.0-80, все структурные подразделения КДС объединены в три подсистемы:

I - подсистема производственного (линейного) контроля;

II - подсистема оперативного управления технологическим процессом контроля;

III - подсистема обеспечения технологического процесса контроля.

Функционально-целевое назначение подсистем вполне определено их названиями.

Основной целью функционирования КДС является достижение и обеспечение максимальной эффективности технологического процесса ремонта за счет оптимального формирования и рационального распределения комплексов контрольно-диагностических операций между подразделениями входного, операционного и приемочного контроля при заданной достоверности распознавания технического состояния ремонтируемых изделий. При формировании комплексов контрольно-диагностических операций, реализуемых в подразделениях КДС, необходимо учитывать стохастичность технического состояния ремонтируемого изделия на всех этапах контроля, существование ненулевых вероятностей ошибок  $\alpha$  и  $\beta$ , являющихся следствием инструментальной, методической и операторной (имеется в виду человек-оператор) погрешностей измерений структурных и диагностических параметров изделий, а также некоторые стоимостные критерии, характеризующие экономическую эффективность проведения проверок.

В общем случае любой агрегат автомобиля можно представить как систему, состоящую из конечного множества  $M = \{m\}$   $m = 1, 2, \dots, M$  элементов. Под элементами в данном случае будем понимать основные ресурсные сопряжения деталей агрегата, обуславливающие его работоспособность. Система считается неработоспособной в случае отказа любого из множества  $M$  элементов или в случае нахождения любого из элементов в предотказном состоянии, определяемом по результатам диагностирования. В общем случае число отказавших или находящихся в предотказном состоянии элементов может быть определено конечным множеством  $N = \{n\}$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ , где  $N \subset M$ , в соответствии с этим множество элементов, находящихся в работоспособном состоянии, можно определить как дополнение к множеству  $N$ , т.е.  $N_d$ . Таким образом, множественное представление агрегата как системы, состоящей из элементов, находящихся в двух возможных состояниях - работоспособном и не работоспособном, будет иметь вид

$$N \cup N_d \in M, \quad N, N_d, M = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Предположим, что имеется конечное пространство возможных проверок  $p = \{p\}$ ,  $p = 1, 2, \dots, p$  системы, каждая из которых охватывает некоторое подмножество элементов системы  $M$  и может иметь три исхода: положительный,

отрицательный и неопределенный. В случае положительного исхода проверки считаем, что среди проверяемых элементов нет неработоспособного элемента, т.е. все элементы принадлежат множеству  $N_d$ . В случае отрицательного исхода проверки следует, что среди проверяемых элементов есть неработоспособный элемент, принадлежащий множеству  $N$ . Неопределенный исход проверки следует понимать как «отсутствие информации» о техническом состоянии элемента из-за несовершенства применяемых для его определения методов и средств контроля. В этом случае считаем, что проверяемый элемент принадлежит области пересечения множеств  $N \cap N_d$ .

Принимая во внимание существование в КДС трех этапов контроля, пространство  $p$  можно представить в виде суммы трех конечных множеств:  $P_1 = \{p_i\}$ ,  $P_2 = \{p_j\}$ , и  $P_3 = \{p_h\}$ :

$$P = P_1 \cup P_2 \cup P_3, \quad (2)$$

где  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$  – конечные множества, представляющие собой комплексы контрольно-диагностических операций, реализуемые на стадиях входного, операционного и приемочного контроля соответственно;  $p$  – элементарная контрольно-диагностическая операция;  $i, j, h$  – индексы, характеризующие число операций, объединенных в комплексы  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$ .

В общем случае достаточно строгий анализ факторов, формирующих пространство  $P$ , показывает, что стохастичность технического состояния ремонтируемых изделий и наличие вероятностей ошибок  $\alpha \neq 0$  и  $\beta \neq 0$  на всех стадиях контроля, а также учет эффекта «отсутствия информации» приводят к тому, что для получения однозначного ответа на вопрос о техническом состоянии конкретного элемента системы каждая элементарная проверка формально должна совершаться бесконечное число раз, т.е.  $p = \{p\} \rightarrow \infty$  увеличивая число этапов контроля до бесконечности. Однако практически для формирования КДС конкретного авторемонтного производства будет вполне достаточно практикуемой в настоящее время трехэтапной системы контроля, чему способствует ряд следующих объективных причин;

а) пространство  $P$  в случае нахождения каждого элемента системы  $M$  в двух возможных состояниях «исправен» или «неисправен», определяемое соотношением

$$P = 2^M - 1, \quad (3)$$

будет все же конечно, учитывая конечность множества  $M$ ;

б) использование априорной (по отношению к авторемонтному производству) информации о техническом состоянии поступающего ремфонда, получаемой от его поставщиков, а также организация процесса контроля в КДС, при которой результаты предыдущих этапов контроля используются на каждом последующем этапе и наоборот (наличие так называемых «прямых» и «обратных» связей), позволит еще более сузить пространство  $P$  за счет исключения

операций контроля тех элементов, состояние которых заведомо удовлетворительно или было выявлено на предыдущих этапах контроля;

в) существует возможность теоретическим или эмпирическим путем установить формализованное значение некоторой заданной достоверности (вероятности правильной оценки)  $D_0(P_s)$  элементарной проверки  $P_s$  при любом  $s$ , принимающем значения 0 или 1 при соответственно положительном или отрицательном исходах элементарной проверки  $P_s$ . При этом возможно осуществить выбор в некотором смысле оптимальной решающей функции  $\Psi$ , которая оценивала бы степень приближения реально возможной для данного метода, средства и исполнителя достоверности распознавания технического состояния ремонтируемого изделия  $D(P_s)$  к заданной (3), т.е.:

$$D(P_s) = D_0(P_s), \quad s = 0, 1. \quad (4)$$

Учет полученного соотношения при формировании пространства  $P$  позволит выбрать и рационально разместить комплекты контрольно-диагностического оборудования и исполнителей по степени приближения реально достигнутой достоверности к заданной. Это, в свою очередь, позволит исключить на каждом последующем этапе контроля эффект «отсутствия информации» при проведении контрольно-диагностических операций на предыдущих этапах, что существенным образом отразится на качестве ремонта.

Проведенный анализ факторов, формирующих пространство всех возможных проверок  $P$ , реализуемых в КДС, позволяет представить функциональную зависимость размерности комплекса контрольно-диагностических операций для конкретного этапа контроля в общем виде:

$$P_k = f(B_{lk}, \{\alpha\}_{rk}, \{\beta\}_{rk}, \{C\}_{sk}, \Psi_{sk}), \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (5)$$

где  $B_{lk}$  - параметр, характеризующий неопределенность технического состояния  $l$ -й совокупности ремонтируемых изделий, поступающих в  $k$ -й комплекс КДС;  $l = 1, 2, \dots, L$ ;  $\{\alpha\}_{rk}$ ,  $\{\beta\}_{rk}$  - распределения вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода, возникающих при использовании  $r$ -го комплекта контрольно-диагностического оборудования в  $k$ -м комплексе КДС;  $r = 1, 2, \dots, R$ ;  $\{C\}_{sk}$  - параметр, определяющий стоимостные характеристики  $s$ -й совокупности элементарных проверок, реализуемых в  $k$ -м комплексе КДС;  $s = 1, 2, \dots, S$ ;  $\Psi_{sk}$  - некоторая решающая функция, количественно характеризующая качество проведения  $s$ -й совокупности элементарных проверок в  $k$ -м комплексе КДС.

В качестве параметра  $B_{lk}$ , учитываемого при формировании комплексов  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$ , реализуемых в КДС, используются либо априорные распределения вероятностей отказов элементов системы (для комплекса  $P_1$ )

$$B_{l1} = \sum_{n=1}^N b_n, \quad N \in M, \quad (6)$$

либо апостериорные распределения вероятностей пропуска отказов элементов при выполнении КДО (для комплексов  $P_2$  , и  $P_3$  ):

$$B_{l2} = \sum_{u=1}^U b_u, \quad U \in N, \quad (7)$$

$$B_{l3} = \sum_{v=1}^V b_v, \quad V \in U,$$

Кроме того, при формировании комплекса  $P_3$  необходимо учитывать, что в процессе ремонта возможно появление так называемых дефектов оборки, имеющих собственное распределение вероятностей их появления. Тогда

$$B_{l3} = B^{(1)}_{l3} + B^{(2)}_{l3} = \sum_{v=1}^V b_v + \sum_{w=1}^W b_w, \quad V \cup W \subset M. \quad (8)$$

При определении остальных параметров, входящих в функционал (5), могут быть использованы существующие методики.

### Основные выводы

1. Показано, что неопределенность технического состояния ремонтируемых агрегатов, а также наличие ненулевых вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода при распознавании их состояния обуславливают необходимость создания организационных и методических основ разработки рациональной стратегии формирования и распределения комплексов контрольно-диагностических операций между подразделениями входного, операционного и приемочного контроля.

2. На основе разработанной функциональной модели организационной структуры контрольно-диагностической системы с использованием методов логико-вероятностного анализа выявлены факторы, формирующие размерность комплексов контрольно-диагностических операций, реализуемых в структурных подразделениях КДС, и сформирован подход к решению поставленных задач.

### Список литературы

1. Дехтеринский Л.В., Карагодин В.И. Концентрация и специализация ремонтного производства. - М., МАДИ,- 1980.-С. 112.
2. Красовский В.Н., Данилов О.Ф., Иванкив М.М., Корчагин В.А. Методика выбора рационального комплекта средств для предремонтного диагностирования агрегатов при централизованном ремонте // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.- Тюмень, ТюмГНГУ,- 2011.- С. 132-141.
3. Кузнецов П.И., Пчелинцев Д.А., Гайденоко В.С. Контроль и поиск неисправностей в сложных системах. - М.: Сов.радио, -1969.-С. 287.

## **МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ТИПОВЫХ СОЧЕТАНИЙ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОЙ ТЕХНИКЕ**

*В.Н. Красовский, В.В. Попцов, В.А. Корчагин*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Несмотря на наличие в Сургутском регионе большого числа предприятий, выполняющих ТО и ремонт специальной нефтегазопромысловой техники (СНГПТ) и автомобилей, задача сбора достаточного для анализа количества экспериментальных данных довольно сложна. В УТТ ОАО «Сургут-нефтегаз» (СНГ) отказ дать данные мотивируют либо внутренним положением о неразглашении коммерческой информации, либо отсутствием достаточного количества информации в связи с малым периодом работы.

Поэтому для сбора данных в качестве базовых предприятий были выбраны управления технологического транспорта нефтегазодобывающих управлений «Сургутнефть» и «Быстринскнефть», на производственных мощностях которых обслуживается до 60% парка подъемных агрегатов. Руководство УТТ согласилось предоставить доступ к архиву заказ-нарядов, в которых в обязательном порядке отражаются все выполняемые работы по техническому обслуживанию и ремонту. Для формирования базы ремонтных работ исследовались УТТ-2, УТТ-5 и другие подразделения УТТ СТ и АД ОАО «СНГ».

С августа 2005 года оформление всей первичной документации производится на персональном компьютере с помощью специализированного программного обеспечения, которое позволяет не только оформлять все необходимые документы, планировать рабочее время и следить за складскими запасами, но и создавать некоторые виды отчетов, что облегчает задачу по формированию базы ремонтных работ. Исходя из этого, было принято решение не проводить анализ по рукописным заказ-нарядам, а формировать базу по выполненным работам на основе генерируемых программой отчетов. Сбор информации ограничим периодом с 01 ноября 2014 года по 01 мая 2015 года. На конец периода в базе данных числилось 13364 заказ-наряда.

Проанализируем, ремонтные работы каких моделей подъемников можно использовать для создания базы. Используя табличный процессор, производим сортировку данных по моделям подъемников и группируем по производителю. Все модели, количество заказ-нарядов по которым не превышает 0,5% от общего количества, совместим в одну группу. Используя полученные в результате обработки данные, построим круговую диаграмму (рис. 1).

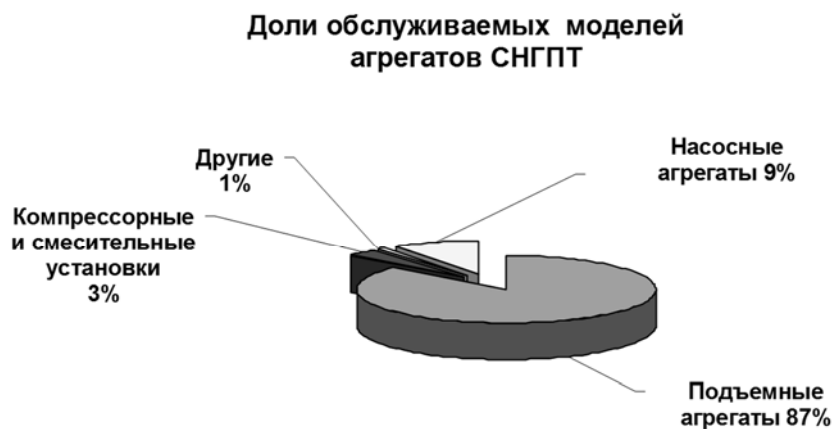


Рис. 1. Доли обслуживаемых в УТТ моделей СНГПТ

Очевидно, что для анализа следует брать данные по подъемным агрегатам А-50М и А-60/80Б, так как величина выборки положительно скажется на достоверности исследований.

Проведена сортировка по выполненным работам и моделям подъемников. Можно заметить, что большое количество позиций занимают работы по ежедневному техническому обслуживанию, работы по проведению контрольно-диагностических работ, установке освещения и сигнализаций. Удаляем их как не представляющие для данного исследования никакой практической ценности. Оставляем только виды работ по замене или ремонту деталей и узлов, исправность которых влияет на работоспособность подъемного агрегата (детали тормозной системы, трансмиссии, двигателя, рулевого управления и подвески, верхнего оборудования). Итого получена выборка, состоящая для подъемников А-50М из 3461 технологической операции, для А-60/80Б - из 2853 ремонтных операций.

Следует заметить, что на данном этапе для облегчения задачи были приняты некоторые условности для сокращения общего количества видов работ [1]. Например, работы по замене ведомого или нажимного диска сцепления, даже если заменялась только одна деталь, были совмещены в одну группу «Замена сцепления». Вне зависимости от количества замененных на одном автомобиле амортизаторов считаем, что произошла замена только одного комплекта. Такая же ситуация с заменой стоек подвески и рулевых тяг. В группу «Ремонт генератора» включены работы как по ремонту электрических компонентов генератора (щетки, выпрямительный мост, статор и т.д.), так и замена подшипников. Аналогично рассматриваем работы по ремонту стартера. Операции по замене приравняются к операциям по ремонту, так как и те и другие регистрируют факт отказа элемента автомобиля. В случае с А-60/80Б работы по ремонту и замене эле-



ментов электронной системы управления спуско-подъемом НКТ было решено не объединять в одну группу, а исследовать отдельно.

В результате этих действий получим конечное число видов ремонтных работ по каждой модели автомобилей.

1. А-50М - 37 видов ремонтных работ

2. А- 60/80 –36 видов ремонтных работ

Для того, чтобы упростить задачу, при исследовании ограничим максимальную величину пробега исследуемых подъемных агрегатов значением 200 тыс. километров. В том случае, если пробег больше заданной величины, то считаем его равным 200 тыс. километров.

При построении полигонов частот число интервалов разбиений для конкретной выборки определяется по правилу Стёрджесса:

$$d \cong 1 + 3,32 \ln N ,$$

где  $d$  - число интервалов разбиений;  $N$  - объем выборки.

$$d \cong 1 + 3,32 \ln 200 = 18,6$$

Принимаем число интервалов равным 20. Для удобства сортировки округляем показания пробега автомобилей в большую сторону с шагом 10 тыс. километров и строим таблицы распределений отказов в зависимости от пробега по каждому виду ремонта.

Сгруппированные экспериментальные данные приведены в итоговой таблице по исследуемой модели подъемников (рис.2).

На основе табличных данных по агрегату А-50М строим гистограмму распределения, график аппроксимирующей функции её уравнение. Произведем расчет величины достоверности аппроксимации  $R^2$ . Полученные значения помещены на гистограмме (рис.3).

Определяем среднее значение распределения:

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{N}, \quad \bar{x} = \frac{3461}{20} = 173.05, \quad (1)$$

где  $N$  - общее число интервалов разбиения;  $x_i$  - значение случайной величины.

Рассчитаем дисперсию случайной величины:

$$D_x = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2, \quad D_x = \frac{1}{20-1} \times 89844.95 = 4728.68, \quad (2)$$

Среднеквадратическое отклонение находим, как корень квадратный из дисперсии, т.е.:

$$S_x = \sqrt{D_x} \quad S_x = \sqrt{4728.68} = 68.77 \quad (3)$$

|    | Виды работ                         | Пробег агрегата, тыс. км |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|------------------------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |                                    | 10                       | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 |
| 1  | Замена заднего амортизатора        | 0                        | 1  | 1  | 2  | 7  | 5  | 3  | 4  | 6  | 3   | 1   | 2   | 3   | 2   | 8   | 5   | 3   | 4   | 3   | 1   |
| 2  | Замена переднего амортизатора      | 0                        | 0  | 4  | 3  | 1  | 2  | 3  | 4  | 2  | 1   | 4   | 2   | 3   | 3   | 4   | 1   | 5   | 3   | 3   | 2   |
| 3  | Ремонт ТНВД                        | 0                        | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1   | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 4  | Вакуумный усилитель-замена         | 0                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 3   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5  | Ремонт ГБЦ                         | 0                        | 0  | 0  | 0  | 2  | 4  | 1  | 1  | 2  | 1   | 2   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 2   | 0   | 0   |
| 6  | Ремонт генератора                  | 0                        | 1  | 4  | 8  | 3  | 4  | 3  | 1  | 5  | 2   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   |
| 7  | Замена главного цилиндра сцепления | 0                        | 0  | 0  | 0  | 4  | 1  | 3  | 4  | 3  | 3   | 2   | 1   | 2   | 0   | 1   | 3   | 2   | 2   | 2   | 0   |
| 8  | Главный тормозной цилиндр-замена   | 0                        | 0  | 0  | 2  | 1  | 3  | 1  | 0  | 4  | 3   | 3   | 3   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 5   | 3   | 3   |
| 9  | Ремонт ГРМ                         | 0                        | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 2  | 3  | 4  | 1   | 3   | 1   | 2   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 10 | Задние колодки-замена              | 0                        | 0  | 0  | 2  | 2  | 3  | 7  | 1  | 0  | 2   | 3   | 1   | 1   | 1   | 0   | 2   | 6   | 3   | 2   | 2   |
| 11 | Задний тормозной цилиндр-замена    | 0                        | 0  | 1  | 0  | 1  | 6  | 1  | 3  | 2  | 0   | 1   | 0   | 2   | 2   | 1   | 3   | 4   | 4   | 5   | 4   |
| 12 | Ремонт эл-тов электрооборудования  | 0                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 4  | 1  | 6  | 2   | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 13 | Замена форсунок                    | 0                        | 0  | 0  | 2  | 2  | 5  | 7  | 5  | 6  | 6   | 7   | 5   | 3   | 7   | 5   | 1   | 1   | 5   | 5   | 3   |
| 14 | Ремонт КПП                         | 0                        | 1  | 1  | 9  | 12 | 7  | 3  | 3  | 9  | 1   | 0   | 2   | 4   | 2   | 0   | 2   | 2   | 1   | 2   | 0   |
| 15 | Замена крестовины                  | 0                        | 0  | 3  | 5  | 4  | 9  | 2  | 1  | 4  | 2   | 0   | 3   | 2   | 1   | 1   | 4   | 0   | 1   | 2   | 2   |
| 16 | Маятник рулевой-замена             | 0                        | 1  | 0  | 3  | 2  | 2  | 5  | 4  | 5  | 7   | 2   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 2   | 3   | 2   |
| 17 | Замена промежуточного шарнира      | 0                        | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 2  | 2  | 3   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 2   | 0   | 1   |
| 18 | Замена передних колодок            | 0                        | 2  | 9  | 10 | 12 | 5  | 8  | 3  | 4  | 2   | 2   | 1   | 2   | 3   | 1   | 1   | 2   | 2   | 3   | 0   |
| 19 | Замена подшипника полуоси          | 0                        | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 20 | Замена подшипника ступицы          | 0                        | 1  | 6  | 6  | 6  | 13 | 9  | 12 | 7  | 10  | 1   | 4   | 1   | 1   | 1   | 2   | 2   | 1   | 2   | 3   |
| 21 | Замена помпы                       | 0                        | 2  | 7  | 3  | 5  | 7  | 3  | 1  | 1  | 3   | 0   | 1   | 0   | 4   | 1   | 0   | 2   | 0   | 1   | 1   |
| 22 | Замена рабочего цилиндра сцепления | 0                        | 0  | 1  | 0  | 2  | 1  | 2  | 1  | 2  | 3   | 2   | 3   | 1   | 0   | 3   | 0   | 2   | 0   | 1   | 1   |
| 23 | Ремонт раздаточной коробки         | 0                        | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 2   | 0   | 2   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 2   |
| 25 | Замена реактивных тяг              | 0                        | 0  | 1  | 3  | 5  | 5  | 2  | 3  | 0  | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 1   |
| 26 | Замена редуктора заднего моста     | 0                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 3   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 27 | Замена редуктора переднего моста   | 0                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 1  | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 2   | 0   |
| 28 | Замена рулевого наконечника        | 0                        | 0  | 1  | 6  | 8  | 8  | 8  | 3  | 1  | 4   | 3   | 1   | 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | 3   | 0   | 0   |
| 29 | Замена сайлент-блоков              | 0                        | 0  | 0  | 0  | 3  | 5  | 1  | 2  | 1  | 3   | 6   | 3   | 2   | 0   | 1   | 1   | 5   | 5   | 3   | 7   |
| 30 | Ремонт стартера                    | 0                        | 0  | 0  | 5  | 4  | 5  | 1  | 0  | 6  | 3   | 1   | 2   | 4   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |

Рис 2. Итоговая таблица распределения отказов элементов подъемного агрегата А-50М в зависимости от пробега

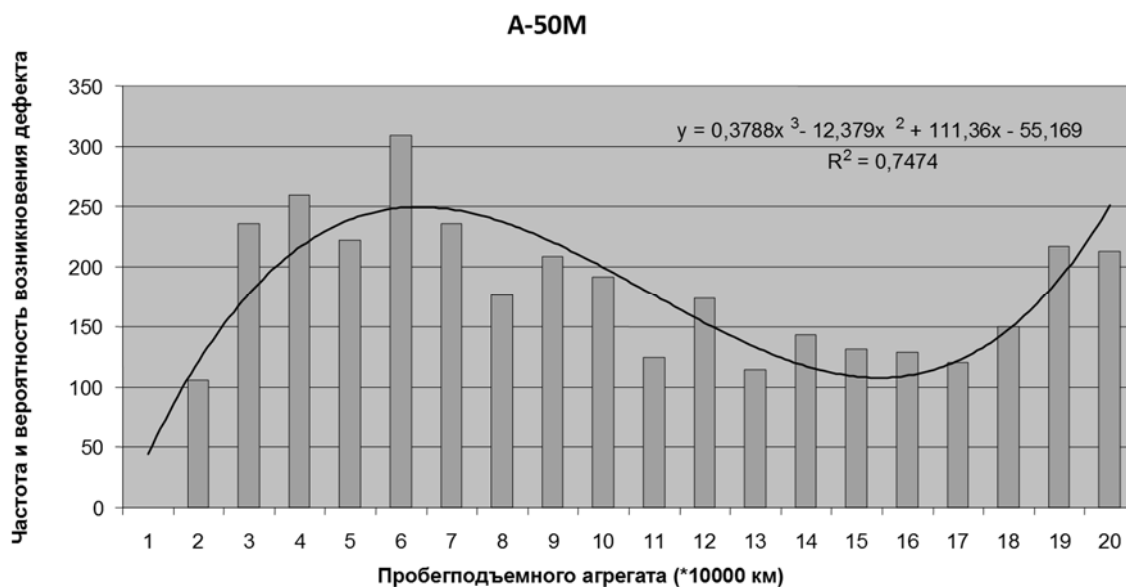


Рис. 3. Параметрическая структуризация экспериментальных данных по агрегатам А-50М

Вычисляем коэффициент вариации:

$$\nu_x = \frac{S_x}{\bar{x}}, \quad \nu_x = \frac{68.77}{173.05} = 0.4 \quad (4)$$

Аналогичные операции построения и вычисления выполнены так же по агрегатам А-60/80Б, АКПП-500, УНЦ-160х50К, АДПМ-12/150-У1 и ЦА-320А. Результаты исследований использовались при разработке технологических процессов ремонта СНГПТ на эксплуатационных и ремонтных предприятиях ОАО «СНГ».

#### Список литературы

1. Красовский В.Н., Данилов О.Ф., Иванкив М.М. Обоснование централизации ремонта специальной нефтегазопромысловой техники с учетом ее технического состояния // Нефтяное хозяйство, №4.- 2009.- С. 2-5.
2. Красовский В.Н., Данилов О.Ф., Иванкив М.М., Корчагин В.А.
3. Проектирование технологии централизованного ремонта специальной нефтегазопромысловой техники с учетом её технического состояния //
4. Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции: Тюмень, ТюмГНГУ, -2010. -С. 129-133.

УДК 624.131

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

*В.Н. Кузнецова, И.С. Кузнецов*

*Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

Уровень развития методов и средств дорожного и промышленного строительства позволяют производить работы практически круглогодично. В связи с этим актуальным становится вопрос совершенствования средств производства, в частности, машин и механизмов.

Производство земляных работ, в том числе и в зимний период, связано с разработкой грунтов сезонного промерзания, а, иногда, и вечно мерзлых. Часто для разработки грунтов таких типов используются рыхлители статического действия [1, 2, 3].

Известны наконечники зубьев рыхлителей как плоской, так и различной криволинейной геометрией рабочей поверхности. Актуальным является вопрос, какая из поверхностей оптимальна с точки зрения минимизации сопротивления рыхлению, а значит, и увеличения производительности и снижения энергоемкости процесса рыхления.

Поставим задачу определения оптимального поперечного сечения рабочей поверхности наконечника зуба рыхлителя.

Свяжем с наклонно установленным наконечником декартовую систему координат  $xuz$  таким образом, чтобы ось  $x$  проходила по средней образующей цилиндрической поверхности наконечника, а ось  $u$  располагалась в горизонтальной плоскости.

Пусть уравнение поверхности наконечника в системе координат  $xuz$  имеет вид:

$$z = f(y). \quad (1)$$

Одновременно введем систему координат  $x' y' z'$ , полученную поворотом системы  $xuz$  на угол резания  $\alpha_p$ . При этом оси  $x'$  и  $z'$  будут располагаться по горизонтали и вертикали (рисунок 1). Можно записать выражения для нахождения координат точек криволинейной поверхности наконечника:

$$x = x' \cdot \cos \alpha + y' \cdot 0 + z' \cdot \sin \alpha = x' \cdot \cos \alpha + z' \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

$$y = x' \cdot 0 + y' \cdot 1 + z' \cdot 0 = y', \quad (3)$$

$$z = -x' \cdot \sin \alpha + y' \cdot 0 + z' \cdot \cos \alpha = -x' \cdot \sin \alpha + z' \cdot \cos \alpha. \quad (4)$$

Подставляя выражения (3) и (4) в уравнение (1), получим:

$$z' \cdot \cos \alpha - x' \cdot \sin \alpha = f(y'). \quad (5)$$

Преобразовав формулу (5), запишем:

$$\Phi = x' \cdot \sin \alpha + f(y') - z' \cdot \cos \alpha = 0. \quad (6)$$

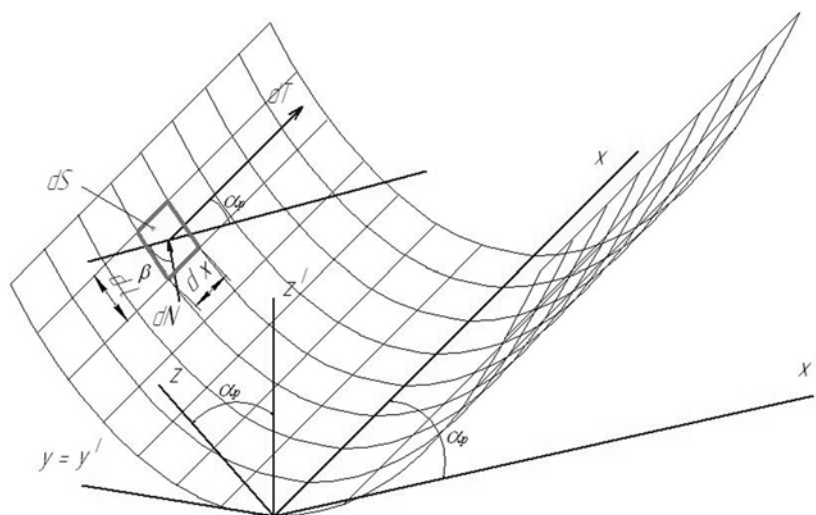


Рис. 1. Схема сил, действующих на элементарную поверхность криволинейного наконечника

Выделим на поверхности наконечника бесконечно малую произвольную площадку  $dS$ , на которую действует нормальное усилие  $dN$  и сила трения  $dT$  (рисунок 1).

Очевидно, что элементарное нормальное усилие будет определяться зависимостью

$$dN = P \cdot dS, \quad (7)$$

где  $P$  – величина нормального давления на наконечник, определяемая по формуле

$$P = p_0 \cdot Q(y) \cdot P(x), \quad (8)$$

где  $p_0$  – величина нормального давления в средней верхней точке наконечника;  $Q(y)$ ,  $P(x)$  – функции, учитывающие изменение давления по ширине и длине наконечника соответственно.

$$P(x) = \left[ 1 + 2 a_2 \cdot a_3 \cdot \left( \frac{X}{L} \right) \cdot e^{-a_3 \left( \frac{X}{L} \right)^2} \right], \quad (9)$$

$$Q(y) = \frac{1 + a \left( \frac{Y}{l} \right)^2}{\left[ 1 + b \left( \frac{Y}{l} \right)^2 \right]^2}, \quad (10)$$

где  $L, l$  – соответственно длина и полуширина наконечника;  $X, Y$  – абсолютные координаты произвольной точки поверхности наконечника;  $x, y$  – относительные координаты точек поверхности наконечника.

Элементарная величина силы трения, действующего на произвольную площадку  $dS$ , будет равна

$$dT = f \cdot dN = f \cdot P \cdot dS. \quad (11)$$

Горизонтальная сила, действующая на элементарную площадку  $dS$ , будет определяться по следующей зависимости:

$$dE_x = dN \cdot \cos \beta + dT \cdot \cos \alpha. \quad (12)$$

Площадь произвольной элементарной площадки  $dS$  будет равна

$$dS = dl \cdot dx = \sqrt{dz^2 + dy^2} \cdot dx = \sqrt{1 + \left( \frac{dz}{dy} \right)^2} \cdot dx \cdot dy = \sqrt{1 + f'(y)^2} \cdot dx \cdot dy = \sqrt{1 + z'^2} \cdot dx \cdot dy, \quad (13)$$

где  $\beta$  – угол наклона нормального усилия  $dN$  к оси  $x'$ , находящийся по формуле

$$\cos \beta = \frac{\frac{\partial \Phi}{\partial x'}}{\sqrt{\left( \frac{\partial \Phi}{\partial x'} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial y'} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial z'} \right)^2}}. \quad (14)$$

Найдем частные производные, входящие в последнюю формулу, исходя из функции (6):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x'} = \sin \alpha, \quad (15)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y'} = f'(y') = z', \quad (16)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z'} = -\cos \alpha. \quad (17)$$

Подставляя полученные выражения (15) – (17) в формулу (12), находим:

$$\cos \beta = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1+f'(y)^2}} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1+z'^2}}. \quad (18)$$

С учетом зависимостей (7), (11), (13) и (19) выражение (12) принимает вид

$$dE_z = P \cdot \sqrt{1+z'^2} dx dy \cdot \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1+z'^2}} + f P \cos \alpha \cdot \sqrt{1+z'^2} dx dy = P \sin \alpha dx dy + f P \cos \alpha \cdot \sqrt{1+z'^2} dx dy. \quad (19)$$

Интегрируя полученное выражение (19) по всей поверхности наконечника, получим

$$E_z = \iint_S \left[ P \sin \alpha dx dy + f P \cos \alpha \cdot \sqrt{1+z'^2} dx dy \right] = \iint p_0 P(x) Q(y) \sin \alpha dx dy + \iint p_0 P(x) Q(y) \cdot f \cos \alpha \cdot \sqrt{1+z'^2} dx dy. \quad (20)$$

Первое слагаемое в полученном выражении не зависит от формы криволинейного профиля наконечника  $z=f(y)$ . Поэтому в дальнейших рассуждениях будем рассматривать только второе слагаемое, которое является проекцией суммарной силы трения на поверхность наконечника.

Запишем

$$E_{mp} = \iint p_0 P(x) Q(y) \cdot f \cos \alpha \cdot \sqrt{1+z'^2} dx dy. \quad (21)$$

Упрощая выражение (21), получим

$$E_{mp} = p_0 \cdot f \cos \alpha \cdot \int_0^L P(x) dx \cdot \int_{-l}^l Q(y) \sqrt{1+z'^2} dy. \quad (22)$$

В полученном выражении (22) от формы криволинейной поверхности зависит лишь последний интеграл

$$\int_{-l}^l Q(y) \sqrt{1+z'^2} dy. \quad (23)$$

Применим к интегралу (23) известную формулу Эйлера - Лагранжа

$$\frac{\partial F(y, z')}{\partial z} - \frac{d F'_{z'}(y, z')}{d y} = 0, \quad (24)$$

где

$$F(y, z') = Q(y) \sqrt{1+z'^2}. \quad (25)$$

Тогда

$$\frac{\partial F(y, z')}{\partial z} = 0. \quad (26)$$

Из уравнения (24) и выражения (25) следует

$$F'_z(y, z') = Q(y) \frac{z'}{\sqrt{1+z'^2}} = C = \text{const}. \quad (27)$$

где  $c$  – неопределенная константа.

Из полученного выражения можно записать:

$$Q(y) z' = C \sqrt{1+z'^2}. \quad (28)$$

Тогда, с учетом преобразований (29) – (32)

$$Q^2(y) z'^2 = C^2 (1+z'^2), \quad (29)$$

$$Q^2(y) z'^2 - C^2 \cdot z'^2 = C^2, \quad (30)$$

$$z'^2 = \frac{C^2}{Q^2(y) - C^2}, \quad (31)$$

$$z' = \frac{\sqrt{C}}{\sqrt{Q^2(y) - C}}, \quad (32)$$

следует

$$z = \int_{-l}^l \frac{\sqrt{C}}{\sqrt{Q^2(y) - C}} dy. \quad (33)$$

Анализируя подынтегральное выражение (33), нетрудно заметить, что  $0 \leq C \leq 1$ . Задаваясь значениями  $c$ , определены различные варианты оптимальных профилей рабочих поверхностей наконечника зуба рыхлителя (рис. 2 - 5). В силу симметричности рабочего органа рыхлителя на рисунках приведены половины поперечных сечений профиля.

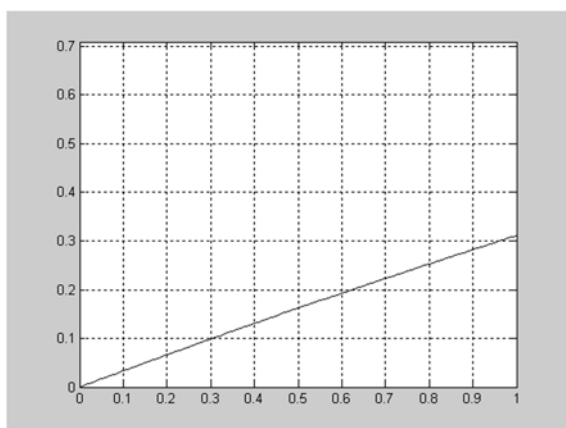


Рис. 2. Оптимальная рабочая поверхность при  $c = 0,1$

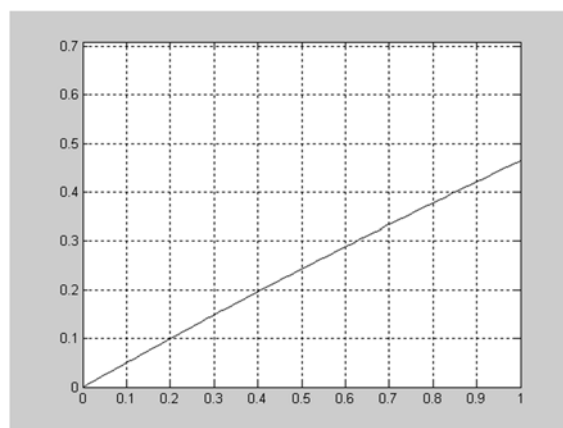


Рис. 3. Оптимальная рабочая поверхность при  $c = 0,2$

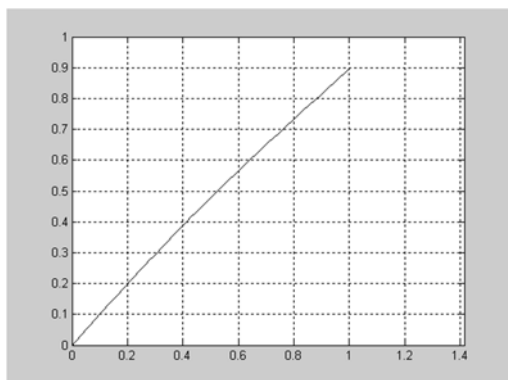


Рис. 4. Оптимальная рабочая поверхность при  $c = 0,5$

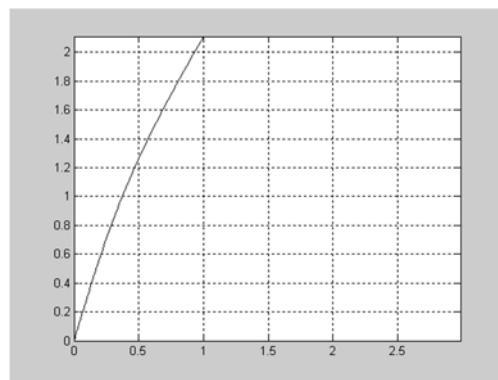


Рис. 5. Оптимальная рабочая поверхность при  $c = 0,9$

Из выражения (32) можно видеть, что значение функционала (23) зависит от константы  $c$ . Поэтому, задаваясь различными значениями константы  $c$  в диапазоне  $(0; 1)$  и подставляя полученные значения выражений (10) и (32) в функционал (23), определяем его численное значение. По полученным данным построим график зависимости функционала (23) от константы  $c$  (рис. 6).

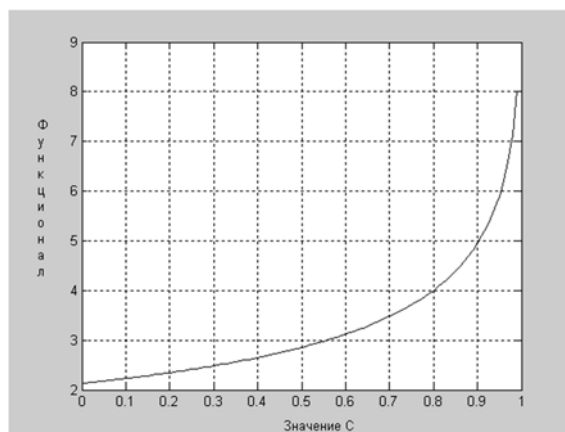


Рис. 6. Зависимость функционала  $\int_{-l}^l Q(y) \sqrt{1+z'^2} dy$  от неопределенной константы  $c$

Из графика, представленного на рис. 6 следует, что наименьшее значение функционала, а, следовательно, и сопротивления рыхлению, определяемого из выражения (22), соответствует постоянной  $c = 0$ . Таким образом, исходя из формулы (33), геометрия оптимальной рабочей поверхности накопника зуба рыхлителя соответствует плоской форме, то есть, когда  $z = 0$ .

### Список литературы

1. Зеленин А. Н., Баловнев В. И., Керов И. П. Машины для землеройных работ. – М.: Машиностроение, 1975. – 422с.
2. Растегаев И. К. Машины для вечномёрзлых грунтов, М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
3. Рейш А. К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин.- М.: Машиностроение, 1986. - 181с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРИВОДА ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА РЕКУПЕРАТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

*В.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, В.В. Савинкин<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

*<sup>2</sup>Казахстан, Петропавловск, Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева*

**Введение.** Поворот платформы одноковшового экскаватора на разгрузку ковша и обратный ход занимает примерно 6 - 7 секунд продолжительности рабочего цикла, поэтому для повышения производительности интенсивность поворота должна быть максимальной. Она ограничивается допустимыми величинами нагрузки (крутящего момента) и максимальной скорости поворота, при которой в контактном зацеплении кинематической пары критические напряжения находятся в прочностном балансе, а экскаватор сохраняет устойчивость. Для удовлетворения этих условий параметры механизма и привода поворота выбирают такими, чтобы при работе с наиболее часто встречающимся углом поворота платформы (90 – 100°) происходили только разгон до максимальной скорости и торможение платформы без равномерного движения с установившейся скоростью.

**Актуальность.** Актуальность исследований обусловлена необходимостью решения ряда проблем, возникающих при эксплуатации новых моделей отечественных экскаваторов, оснащённых мощными дизельными двигателями и гидроприводом с давлением 32,2 МПа. Высокий уровень отказов механизма поворота, значительные экономические потери, связанные с ремонтными работами и простоем техники, требуют проведения широкого спектра научных исследований по анализу причин отказов, уточнению методик проектирования и расчёта механизмов поворота, а также эксплуатационных режимов работы механизма и гидропривода [1]. Повышение долговечности механизма поворота платформы неразрывно связано с комплексом научных положений об энергоэффективности процессов. Особенно остро стоит вопрос о научных разработках по распределению сил сопротивления, управлению и адаптации динамических циклически непостоянных нагрузок.

**Основная часть.** Силовой и прочностной анализ взаимодействия контактных поверхностей зацепления при классической компоновке механизма поворота платформы показал зоны опасного сечения, на которых происходит локализация концентраций напряжений изгиба и контакта. Высокий уровень значений напряжений, сосредоточенных в контактном пятне

зацепления, в некоторые  $\Delta t_i$  достигает критических значений, т.е. условия прочности  $\sigma_{\text{и}} > [\sigma_{\text{и}}]$  нарушены, что приводит к усталости металла при циклических нагрузках и, как следствие, облому зубьев [2]. Критические значения напряжений возникают в момент торможения платформы, происходящее при максимальном значении рабочего угла поворота  $\varphi = 90^\circ - 100^\circ$ . Полученные значения сил и напряжений в паре зацепления при моделировании имеют удовлетворительную согласованность с теоретическими расчетами, что подтверждает выдвинутое теоретическое предположение об отрицательном влиянии касательных сил инерции на энергоемкость такта.

Результаты теоретических и лабораторных исследований подтверждают, что одним из более эффективных методов повышения долговечности и энергоэффективности поворотного механизма является своевременное перераспределение сил в зацеплении. Указанный технический результат достигается разработанным авторами энергосберегающим приводом поворотной платформы землеройной машины. Положительный эффект достигнут за счет адаптации механизма к возникающим моментам инерции в разные промежутки времени и пространственного расположения поворотной платформы в процессе эксплуатации экскаватора. Процесс формирования критических зон концентрации напряжений и перераспределение усилий нагружения при работе энергосберегающего привода поворотной платформы можно смоделировать и исследовать по разработанной авторами методике (рисунок 1, 2).

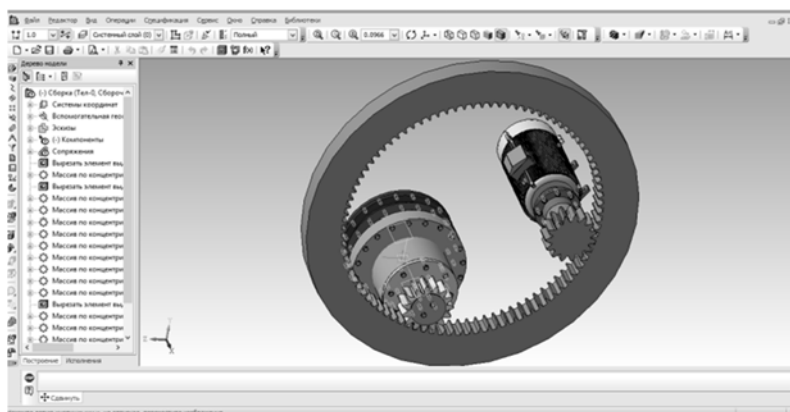


Рис. 1. Модель элементов энергосберегающего привода поворотной платформы, находящихся в зацеплении

Процесс распределения нагрузки по рабочим поверхностям венца опорно-поворотного круга, приводной и следящей шестерен смоделирован на рисунке 2.

По сравнению с классической моделью механизма поворота в предложенной модели (рисунок 2) практически отсутствуют критических значений напряжений. Данный факт свидетельствует об эффективности перераспределения нагрузки, так как исключены из процесса взаимо-

действия поверхностей напряжения контакта и изгиба, превышающие критические значения  $\sigma_{\text{и}} > [\sigma_{\text{и}}]$ .

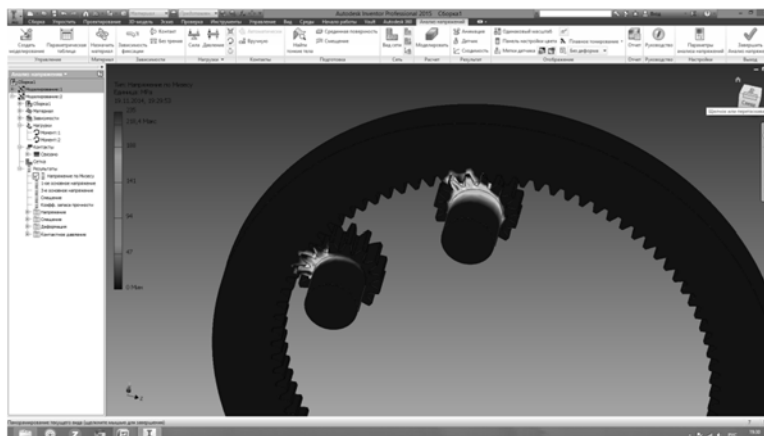


Рис. 2. Модель эффективного перераспределения нагрузки и концентрации напряжений по рабочим поверхностям зубьев элементов энергосберегающего привода

Исследуемая основная контактная площадь (рисунок 2) иллюстрирует полезную работу механизма поворота платформы, затраченную на перемещения оборудования. Уже на данном этапе исследования имеется косвенное доказательство повышения КПД механизма. Сравнивая значения напряжений, возникающих в зацеплении, установлено, что в системе «шестерня редуктора – венец поворотного круга» в первые секунды работы механизма значения напряжений больше, чем у системы «шестерня усилителя - венец поворотного круга» (рисунок 2). Данное явление объясняется значительным ростом динамических нагрузок в момент разгона платформы, когда крутящий момент передается с действием моментов инерции. Система адаптации моментов инерции только считывает информацию и обрабатывает. Для электронной системы данный процесс занимает доли секунды. От управляющего сигнала вступает в работу усилитель и перераспределяет часть нагрузки на себя, обеспечивая синхронность работы пар зацепления. В данном случае цветовая гамма характеризует контактный участок поворотного колеса, работающего с напряжениями от  $\sigma_{\text{г}} < 90 - 100$  МПа (рисунок 2), что на 18,7% ниже, чем в стандартной конструкции. Динамика изменения возрастающей нагрузки зависит от угловой скорости перемещения. Чем выше моменты инерции, тем быстрее и чаще срабатывает система адаптации. В конце такта  $t_3$ , при торможении платформы резких скачков напряжений  $\sigma$  диаграмма не регистрирует. Поскольку система адаптации моментов через клапан давления регулирует подачу рабочей жидкости на всем процессе работы, перераспределение сил и ограничение подачи давления рабочей жидкости обеспечивают щадящий режим эксплуатации в переходных режимах поворота. Следовательно, система

адаптации регулирует и сохраняет силовой баланс в течение всех периодов поворота  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ . Суммарные составляющие напряжений во всех парах зацепления снижены (рисунок 2) и не превышают  $\Sigma\sigma_{\max} = 114,33$  МПа.

По результатам исследований качественные и количественные характеристики долговечности и энергоемкости механизма поворота платформы, работающего с адаптивной системой управления, представлены в виде номограммы (рисунок 3).

Анализируя кривые зависимостей номограммы (рисунок 3), сделан вывод о том, что основные показатели – ресурс работы  $N_{\text{цикл}}$  и мощность зацепления  $N_{\text{зац}}$  являются составляющими, определяющими энергоэффективность работы поворотного механизма экскаватора. Их значения зависят от угла поворота платформы  $\phi$ , а также сил  $\phi_r$  и моментов инерции  $M_{\text{и}}$ , циклически возникающих в процессе эксплуатации.

Закономерности изменения ресурсных и мощностных показателей при нагрузочных режимах работы экскаватора представлены корреляционными уравнениям:  $\sigma_{\text{и}} = 0,9209\phi^2 - 115,45\phi + 4292,4$ ;  $N_{\text{зац}} = 0,025\phi^2 - 3,2077\phi + 119,28$ ;  $N_{\text{и0}} = -17,25 \ln(\sigma_{\text{и}}) + 128,82$ .

Исследуя кривые номограммы, видно, что при малом угле поворота (например,  $\phi = 30^\circ$ ), соответствующего моменту разгона и ускорения платформы, резко возрастают значения мощности зацепления до  $N_{\text{зац}} = 50 - 58$  кВт. Контактная мощность зацепления  $N_{\text{зац}}$  (кривая 2 рисунок 3) порождает концентрацию напряжений изгиба  $\sigma_{\text{и}}$  на контактных поверхностях зубьев, значение которой достигает  $\sigma_{\text{и}} = 2300$  МПа.

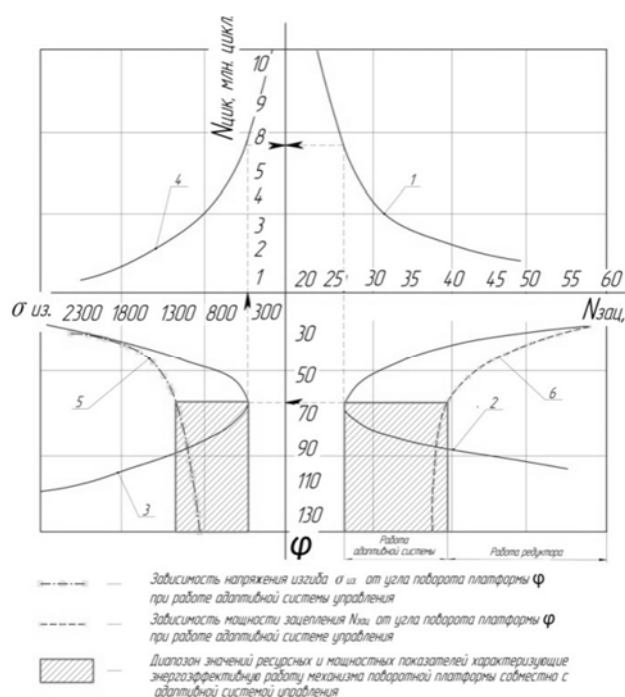


Рис. 3. Номограмма определения оптимальных значений ресурсных и мощностных показателей, характеризующих энергоэффективную работу поворотного механизма

Указанные значения являются опасными при работе платформы, поскольку возникают в очень короткий период времени  $t_1 = 0,2-0,002$  с. и формируются на малой контактной площади зуба шестерен. Критические значения напряжений приводят к поломке зуба из-за нарушения структуры металла. В процессе последующего вращения платформы в период времени установившегося движения  $t_2$ , увеличение значений сил и моментов инерции замедляется, а также снижается мощность зацепления до  $N_{\text{зац}} = 25$  кВт. Соответственно, снижается и воздействие напряжений изгиба в зубьях шестерен до  $\sigma_{\text{и}} = 455$  МПа. Указанные значения являются минимально возможными для осуществления полной работы платформы, при которых энергоемкость процесса незначительна, а ресурс работы составляет  $N_{\text{цик}} = 8$  млн. циклов (кривые 4 и 1). При этом угол поворота платформы  $\varphi$  составляет  $65 - 70^\circ$ . Общепринятый рабочий диапазон платформы экскаватора составляет  $\varphi = 90 - 110^\circ$  и соответствует углу позиционирования в процессе торможения платформы  $t_3$ . В момент торможения значения мощности зацепления  $N_{\text{зац}}$  и напряжения изгиба  $\sigma_{\text{и}}$  вновь резко возрастают до 60 кВт и 2300 МПа соответственно. Если опустить перпендикуляры от кривых 1, 2, 3, 4 на оси (рисунок 3), то можно определить значения связанных показателей. Указанные значения также будут критически опасны для эксплуатации механизма, особенно при циклическом характере нагружения. Значит, наиболее щадящим режимом эксплуатации поворотной платформы экскаватора будет такт установившегося движения, при котором  $N_{\text{зац}}=25$  кВт,  $\sigma_{\text{и}} = 455$  МПа, и ресурс работы механизма может достичь максимальных значений  $N_{\text{цик}}=8$  млн. циклов (кривые 4 и 1, рисунок 3). Самыми энергоемкими режимами эксплуатации будут периоды ускорение и торможение, при которых  $N_{\text{зац}} = 60$  кВт,  $\sigma_{\text{и}} = 2300$  МПа и снижение ресурса работы механизмов достигает  $N_{\text{цик}}=1,5 - 2$  млн. циклов (кривые 4 и 1, рисунок 3).

По результатам проведенных исследований энергоэффективности работы установлено, что суть проблемы низкой долговечности и большой энергоемкости процесса заключается в концентрации напряжений изгиба  $\sigma_{\text{и}}$  и контакта  $\sigma_{\text{н}}$  на очень малых площадях, ограниченных пятном контакта зуба при зацеплении. Следовательно, наиболее результативным мероприятием, повышающим энергоэффективность процесса поворота, станет распределение напряжений изгиба  $\sigma_{\text{и}}$  и контакта  $\sigma_{\text{н}}$  по большей площади контакта пары зацепления. Для эффективности процесса момент распределения должен согласовываться с углом поворота платформы и пиковыми нагрузками, т.е. должен присутствовать принцип адаптации распределенной нагрузки к возрастающим моментам инерции от собственных центр масс оборудования при большом угловом ускорении и замедлении.

На рисунке 3 кривые 5 и 6 характеризуют энергоэффективность работы механизма поворота платформы совместно с предложенной системой адаптированного управления. В момент начала поворота платформы пер-

вым нагрузку воспринимает ведущая шестерня редуктора, поэтому на первом этапе работы  $t_1$  значения  $\sigma_{\text{и}}$  (кривая 5) практически совпадают со значениями  $\sigma_{\text{и}}$  кривой 3. Значения  $N_{\text{зац}}$  (кривая 6) также идентичны кривой 2. Далее адаптивная система считывает нарастающие значения момента и сил инерции и подает управляющий сигнал на исполнительный механизм, который, включаясь в работу, помогает регулировать распределение усилий по всему венцу опорно-поворотного круга. За счет подключения усилителя процесс поворота приобретает постоянство режимов управления на всех трех этапах, улавливая моменты инерции, возрастающие при ускорении. В начале периода торможения увеличение моментов инерции не происходит за счет того, что считывающее устройство их уловило на пограничном периоде между установившимся движением  $t_2$  и началом торможения  $t_3$ . Поэтому на рисунке 3 наблюдаются кривые 5 и 6 иного характера. В этом случае полезная работа обеспечивается при установившихся оптимальных значениях мощности зацепления  $N_{\text{зац}} = 42$  кВт и соответствует рабочему диапазону углов поворота платформы  $\varphi = 90 - 110^\circ$ , при этом возникающие напряжения изгиба в 1,5 раза меньше, чем при стандартной конструкции и составляют  $\sigma_{\text{и}} = 1300$  МПа. Резкое снижение значений кривых 5 и 6 при угле поворота  $\varphi = 73^\circ$  соответствуют основным периодам эксплуатации платформы  $t_2$  и  $t_3$ , но с меньшей энергоемкостью и более постоянными фиксированными значениями усилий « $N_{\text{зац}} \rightarrow \text{const}$ », адаптированными к возрастающим касательным моментам инерции. Наличие адаптированной системы управления, как показывают кривые 5 и 6 рисунка 3, позволит увеличить оптимально необходимые значения мощности зацепления и сделать их постоянными на протяжении всего такта поворота, тем самым снижая до минимума значений  $\sigma_{\text{и}} = 1300$  МПа. Заштрихованная площадь (рисунок 3) пересечения кривых 2, 3, 5 и 6 представляет оптимальный диапазон значений силовых, мощностных и ресурсных показателей при эксплуатации адаптивной системы управления при фактических нагрузочных режимах.

Таким образом, обоснована адекватность выдвинутой гипотезы о том, что перераспределение усилий, возникающих от моментов и сил инерции собственных центра масс оборудования, снижает энергоемкость процесса.

Анализируя результаты проведенных исследований, можно сделать вывод:

- разработанный энергосберегающий привод поворотной платформы за счет снижения напряжений во всех парах зацепления до  $\Sigma \sigma_{\text{max}} = 114,33$  МПа оказывает положительный эффект на нагрузочные режимы эксплуатации поворотной платформы экскаватора;

- обоснованный оптимально эффективный диапазон значений  $N_{\text{зац}}$ ,  $\sigma_{\text{и}}$  и  $\varphi$  обеспечивает стабильность и снижение энергоемкости процесса поворота платформы экскаватора. Предложенные корреляционные зависимости позволяют описать принцип взаимосвязи качественно новых закономерностей

стей исследуемого процесса поворота платформы экскаватора. Также установленные зависимости дают более полное представление об условиях, обеспечивающих высокую энергоэффективность такта поворота платформы при заданной производительности экскаватора.

- предложенная методика исследований адекватно описывает процессы изменения концентраций напряжений в механизме зацепления с адаптивной системой управления.

### **Список литературы**

1. Бояркина И.В. Энергосберегающий привод рабочего оборудования как средство получения дополнительной мощности фронтального погрузчика // Материалы 66-й научно-технической конференции ФГБОУ ВПО СибАДИ (с международным участием). – Омск: СибАДИ, 2012. Кн. 1. – С. 425 – 429.
2. Павлов В. П. Программа расчета нагрузок в гидромеханизмах произвольной структуры / Свидетельство о регистрации ГОСФАП. 2007. – 37 с.

УДК 656.13

## **КОРРЕКТИРОВАНИЕ НОРМАТИВОВ РАСХОДА МОТОРНОГО МАСЛА АВТОМОБИЛЯМИ**

*Е.И. Макаров*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Под ресурсом масла в двигателе понимается продолжительность его работы, в течение которого изменения, происходящие в масле, не оказывают заметного влияния на снижение долговечности и надёжности работы двигателя. Ресурс масла устанавливается в часах работы двигателя, либо в километрах пробега автомобиля, а также в зависимости от расхода топлива. В различных условиях эксплуатации двигателя удобно применять тот или иной измеритель.

Срок службы масла обычно рекомендуется заводом-изготовителем или положением о техническом обслуживании. [1] Однако эти сроки не обоснованы теоретически и весьма мало обоснованы экспериментально, а также несут общий характер и не лишены недостатков, т.к. не учитывают особенности эксплуатации каждого автомобиля.

Нормирование расхода моторного масла осуществляется в соответствии с нормативным документом, утвержденным Министерством транспорта Российской Федерации 14 марта 2008 г. №АМ-23-Р и распространяется только на расход масла на долив. Нормы расхода смазочных материалов на автомобильном транспорте предназначены для оперативного учета,

расчета удельных норм расхода масел и смазок при обосновании потребности в них в автотранспортных предприятиях.

Нормы расхода масел установлены в литрах на 100 литров расхода топлива, рассчитанного по нормам для данного автомобиля. Расход смазочных материалов при капитальном ремонте агрегатов автомобилей устанавливается в количестве, равном одной заправочной емкости системы смазки данного агрегата.

Изготовитель автомобиля в инструкции по эксплуатации устанавливает наработку силовых агрегатов по пробегу или в часах, после чего необходимо заменить масло на новое. При этом изготовители силовых агрегатов исходят из средних статистических данных по работоспособности масла в различных условиях эксплуатации и при техническом состоянии силового агрегата, близком к предельному (перед постановкой в ремонт).

При использовании установленной заводом-изготовителем периодичности смены масел в новых силовых агрегатах и агрегатах, работающих в более благоприятных условиях, смена масла происходит преждевременно, что является неэффективным использованием смазочных материалов. [2] При использовании автомобиля в неблагоприятных условиях эксплуатации, по достижению фиксированной наработки, двигатели работают с выработавшим ресурсом маслом. Это ведет к снижению их долговечности и увеличению затрат на ремонт. [3]

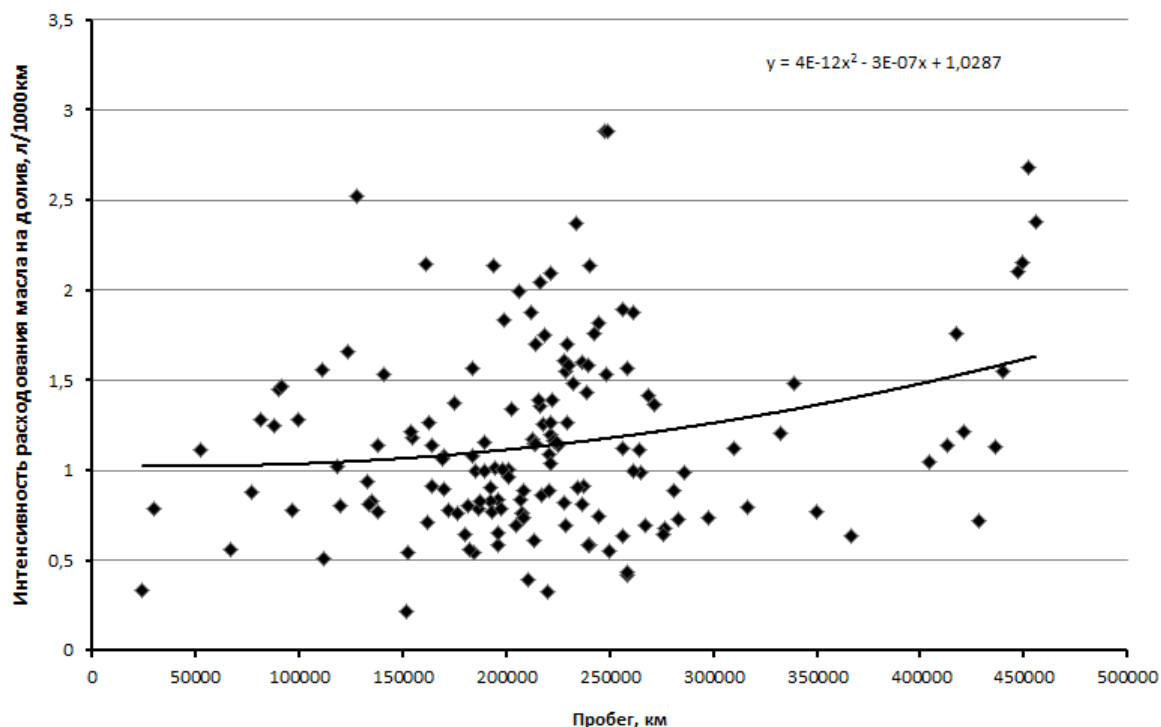


Рис. 1 Зависимость интенсивности расходования масла на долив от пробега автомобилей Урал - 4320



Анализ результатов проведенного эксперимента показывает, что потребление масла возрастает с увеличением пробега автомобиля. После достижения наработки 250 000 – 300 000 км проводится капитальный ремонт двигателя, и потребление масла снижается.

Значительное влияние на расход масла оказывает температура воздуха. Ниже представлен график зависимости интенсивности расходования масла от температуры воздуха.

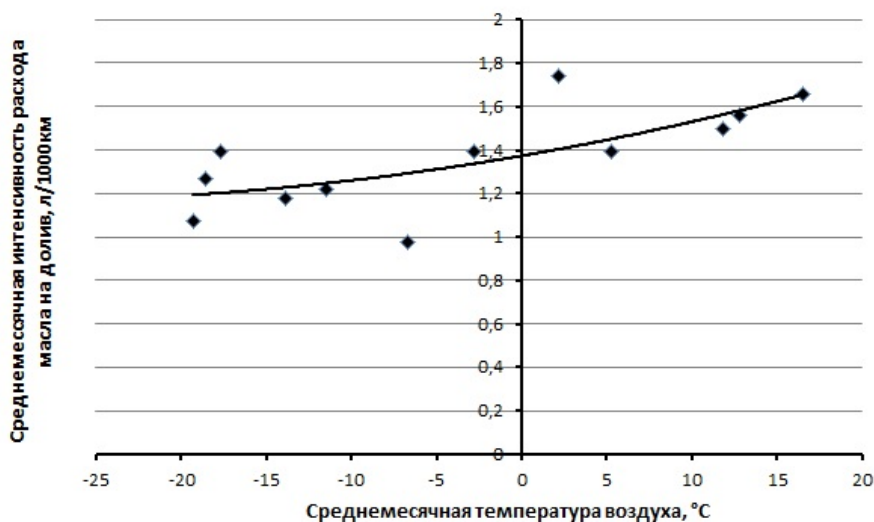


Рис. 2 Зависимость интенсивности расходования масла на угар двигателями автомобилей Урал - 4320 от среднемесячной температуры воздуха в городе Ноябрьск

Интенсивность расхода моторного масла возрастает с увеличением температуры воздуха. Из-за уменьшения вязкости масла пленка на внутренней поверхности рабочих цилиндров становится тонкой, проникает через уплотнение между цилиндром и поршнем, что приводит к увеличенному угару масла в камере сгорания.

При превышении допустимого срока использования либо применения некачественного моторного масла происходит процесс окисления, который образует на деталях двигателя, в том числе на поршнях, отложения.

Действующая система нормирования расхода масла не учитывает, что сезонные условия влияют на интенсивность расходования моторного масла, в результате чего увеличиваются запасы масла или его количество оказывается недостаточным, и автомобили работают с выработавшим ресурс маслом. Это ведет к снижению их долговечности и увеличению затрат на ремонт.

Для устранения указанных недостатков предлагается ввести норматив измерения расхода моторного масла в л/1000 км. Данный норматив будет учитывать интенсивность эксплуатации автомобилей, а также суммарный пробег за рассматриваемый период.



Рис. 3. Предлагаемая система нормирования расхода моторного масла

Необходимо разработать имитационную модель процесса потребления моторного масла парком автомобилей и ее программную реализацию.

Имитационная модель необходима для:

- моделирования процесса расходования масла на долив, учитывая состояние двигателя;
- моделирования процесса расходования масла на замену;
- прогнозирования расхода масла автомобилями;
- расчета затрат на использование моторного масла.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы.

Расход масла складывается из расхода на замену и расхода на долив. Расход масла на замену определяется интенсивностью эксплуатации автомобилей.

Расход на долив зависит от условий эксплуатации автомобиля, технического состояния и режима работы двигателя. Интенсивность расходования масла повышается с увеличением температуры воздуха, в летние месяцы она больше. Установленные заводом-изготовителем нормативы расхода моторного масла, не актуальны в условиях Севера.

### Список литературы

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс РСФСР. – М.: Транспорт, 1986. – 73 с.
2. Захаров Н.С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей : дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 2000. – 525 с.
3. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

## **МОДЕЛЬ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ СРЕДНЕСУТОЧНОГО ПРОБЕГА И ДЛИНЫ РЕЙСА НА ФАКТИЧЕСКУЮ ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

*А.Н. Макарова, Н.С. Захаров*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

На фактическую периодичность ТО автомобилей влияет большое число факторов. Если принять в качестве ограничения, что обслуживание проводится после окончания смены работы на линии или после окончания рейса, то фактическая периодичность ТО складывается из целых промежутков наработки за смену (рейс). Поэтому фактическая периодичность ТО в таком случае зависит от пробега автомобиля за смену (сутки).

При рассмотрении закономерности влияния среднесуточного пробега и расстояния перевозки на фактическую периодичность ТО в качестве исходных принципов приняты следующие аксиомы:

1 - вероятность безотказной работы автомобилей зависит от периодичности ТО;

2 - фактическая периодичность ТО в большинстве случаев не может быть реализована на уровне нормативной, она или больше, или меньше ее;

3 – фактическая периодичность ТО есть сумма случайных значений длины рейса в период между двумя последовательными обслуживаниями;

4 – если длина рейса меньше суточного пробега, то фактическая периодичность ТО есть сумма случайных значений суточных пробегов;

5 – если длина рейса (суточный пробег) – случайная величина, то и периодичность ТО есть тоже случайная величина.

Возможны два подхода к изучению рассматриваемой закономерности [1, с. 57]:

1 – исследуемая система не структурируется, а представляется в виде «черного ящика», затем фактическая периодичность ТО связывается с длиной рейса (суточным пробегом) эмпирическими моделями;

2 – исследуемая система структурируется, затем на основе этой структуры создается модель системы в целом; учитывая, что изучается стохастический процесс, целесообразно использовать имитационную модель.

Предпочтение следует отдать второму подходу, так как он позволяет получить результат в меняющихся условиях.

На основе изложенных выше аксиом и анализа системы формирования фактической периодичности ТО разработана имитационная модель, блок-схема алгоритма которой представлена на рис. 1. Моделирование по этому алгоритму осуществляется в следующем порядке.

1. Сначала вводятся значения математического ожидания суточного пробега ( $M_{L_c}$ , км), коэффициента вариации суточного пробега ( $V_{L_c}$ ), норматива периодичности ТО ( $L_{TO}^{(H)}$ , км), допустимого отклонения периодичности ТО ( $dL_{TO}$ , км), времени моделирования ( $T_m$ , дни), а также количество автомобилей ( $A$ ) и номер закона распределения суточного пробега ( $Z_L$ ).

2. Далее генерируется начальное состояние наработки после последнего ТО ( $L_{\Sigma i}$ , км). Номер дня ( $j$ ), а также номер автомобиля ( $i$ ) приравняются единице. После этого генерируется значение длины рейса ( $L_{pi}$ ) и суточного пробега ( $L_c$ ).

3. Далее сравниваются значения длины рейса и суточного пробега. Если длина рейса больше суточного пробега, то из длины рейса вычитается значение суточного пробега ( $L_{pi} = L_{pi} - L_c$ ).

4. Номер автомобиля увеличивается на единицу. Проверяется, больше ли номер автомобиля количества автомобилей.

Если нет, то проверяется, равна ли длина рейса нулю. Если да, то генерируется значение длины рейса и все действия повторяются. Если нет, то генерируется суточный пробег и все действия повторяются.

Если номер автомобиля больше количества автомобилей, то номер дня увеличивается на единицу и проверяется, больше ли номер дня времени моделирования. В случае, когда задается число реализаций  $N_{realiz}$ , то проверяется достижение количества реализованных ТО  $N_{realiz}$ . Если  $N_{TO} \geq N_{realiz}$  или если достигнут конец цикла моделирования, то значения фактических периодичностей ТО выводятся на печать. Работа программы завершается. Если нет, то номер автомобиля увеличивается на единицу, и все действия повторяются.

5. Если длина рейса меньше суточного пробега, то к значению наработки после последнего отказа прибавляется значение суточного пробега ( $L_{\Sigma} = L_{\Sigma} + L_c$ ).

6. Далее сравниваются значения наработки после последнего отказа и норматива периодичности ТО. Если наработка после последнего отказа больше или равна значению норматива периодичности ТО, то проверяется, больше ли значение наработки после последнего ТО, чем сумма значений норматива периодичности ТО и допустимого отклонения периодичности ТО. Если да, то фактическая периодичность ТО ( $L_{TO}$ ) приравнивается разнице значений наработки после последнего ТО и суточного пробега ( $L_{TO} = L_{\Sigma i} - L_c$ ), значение наработки после последнего ТО приравнивается значению суточного пробега, а значение наработки после последнего ТО за предыдущий день приравнивается нулю. Если нет, то значение фактической периодичности ТО приравнивается значению наработки после последнего ТО, и эта наработка приравнивается нулю. В обоих случаях длина рейса приравнивается нулю, записывается значение фактической периодичности ТО и выполняются действия из пункта 4.



длина рейса. Для характеристики длины рейса (суточного пробега) также используется среднее значение  $\overline{L_p}$  и коэффициент вариации  $V_{L_p}$ . Таким образом, необходимо рассмотреть четыре зависимости.

Гипотеза 1. Средняя фактическая периодичностью ТО связана со средней длиной рейса прямой линейной зависимостью и описывается моделью:

$$\overline{L_{TO}^{(\Phi)}} = A_0 + A_1 \overline{L_p},$$

где  $A_0, A_1$  – эмпирические коэффициенты.

Такое предположение основано на том, что с увеличением длины рейса отличие суммы ее реализаций от нормативной периодичности ТО будет увеличиваться.

Гипотеза 2. Средняя фактическая периодичностью ТО связана с коэффициентом вариации длины рейса прямой линейной зависимостью. При этом сила влияния определяется средней длиной рейса: чем больше  $\overline{L_p}$ , тем сильнее влияние  $V_{L_p}$ . Эта зависимость описывается моделью:

$$\overline{L_{TO}^{(\Phi)}} = A_0 + A_1 V_{L_p}.$$

Теоретически интервал варьирования периодичности ТО составляет  $L_{TO}^{(н)} - \Delta L_{TO} \dots L_{TO}^{(н)} + L_p^{(max)}$ . С увеличением коэффициента вариации длины рейса увеличивается максимальная длина рейса  $L_p^{(max)}$  и соответственно средняя фактическая периодичность ТО. При большей длине рейса  $L_p^{(max)}$  имеет большее значение, поэтому увеличение длины рейса ведет к большему влиянию коэффициента вариации длины рейса на периодичность ТО.

Гипотеза 3. Коэффициент вариации периодичности ТО связан со средней длиной рейса прямой линейной зависимостью и описывается моделью:

$$V_{L_{TO}} = A_0 + A_1 \overline{L_p},$$

где  $A_0, A_1$  – эмпирические коэффициенты.

Как показано выше, с увеличением средней длины рейса увеличивается максимальная длина рейса  $L_p^{(max)}$ , и это ведет к увеличению коэффициента вариации периодичности ТО.

Гипотеза 4. Коэффициент вариации периодичности ТО связан с коэффициентом вариации длины рейса линейной зависимостью. Сила влияния определяется средней длиной рейса (рис. 5): чем больше  $\overline{L_p}$ , тем сильнее влияние  $V_{L_p}$ , причем в области малых (линия 1) и средних (линия 2) значений  $\overline{L_p}$  эта зависимость прямая, а в зоне больших (линия 3) – обратная. Рассматриваемая зависимость описывается моделью:

$$V_{L_{TO}} = A_0 + A_1 V_{L_p}.$$

При малых значениях длины рейса коэффициент вариации  $V_{L_p}$  не может оказать заметного влияния как на среднее значение фактической периодичности ТО, так и на коэффициент ее вариации. При повышении средней длины рейса интервал варьирования  $L_{ТО}^{(ф)}$  значительно увеличивается, и в этих условиях  $V_{L_p}$  существенно влияет на коэффициент вариации фактической периодичности ТО. При значениях длины рейса около 70% от нормативной периодичности ТО и более возможны только два варианта фактической периодичности ТО:  $L_{ТО}^{(ф)} = L_p$  или  $L_{ТО}^{(ф)} = 2L_p$ . В обоих вариантах отклонение от нормативной периодичности составит около 30%. При этом изменение  $L_p$  в любую сторону приведет к уменьшению этого отклонения и снижению коэффициента вариации периодичности ТО.

Гипотезы о виде математических моделей нуждаются в проверке на основе имитационного эксперимента.

### Список литературы

1. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 127 с.

УДК 656.13

## МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

*А.Н. Макарова, Н.С. Захаров*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

На фактическую периодичность ТО автомобилей влияет большое число факторов. Если принять в качестве ограничения, что обслуживание проводится после окончания смены работы на линии или после окончания рейса, то фактическая периодичность ТО складывается из целых промежутков наработки за смену (рейс). Поэтому фактическая периодичность ТО в таком случае зависит от пробега автомобиля за смену (сутки).

При рассмотрении закономерности влияния среднесуточного пробега и расстояния перевозки на фактическую периодичность ТО в качестве исходных принципов приняты следующие аксиомы:

1 - вероятность безотказной работы автомобилей зависит от периодичности ТО;

2 - фактическая периодичность ТО в большинстве случаев не может быть реализована на уровне нормативной, она или больше, или меньше ее;

3 – фактическая периодичность ТО есть сумма случайных значений длины рейса в период между двумя последовательными обслуживаниями;

4 – если длина рейса меньше суточного пробега, то фактическая периодичность ТО есть сумма случайных значений суточных пробегов;

5 – если длина рейса (суточный пробег) – случайная величина, то и периодичность ТО есть тоже случайная величина.

Возможны два подхода к изучению рассматриваемой закономерности [1, с. 57]:

1 – исследуемая система не структурируется, а представляется в виде «черного ящика», затем фактическая периодичность ТО связывается с длиной рейса (суточным пробегом) эмпирическими моделями;

2 – исследуемая система структурируется, затем на основе этой структуры создается модель системы в целом; учитывая, что изучается стохастический процесс, целесообразно использовать имитационную модель.

Предпочтение следует отдать второму подходу, так как он позволяет получить результат в меняющихся условиях.

На основе изложенных выше аксиом и анализа системы формирования фактической периодичности ТО разработана имитационная модель, блок-схема алгоритма которой представлена на рис. 1. Моделирование по этому алгоритму осуществляется в следующем порядке.

1. Сначала вводятся значения математического ожидания суточного пробега ( $M_{L_c}$ , км), коэффициента вариации суточного пробега ( $V_{L_c}$ ), норматива периодичности ТО ( $L^{(н)}_{ТО}$ , км), допустимого отклонения периодичности ТО ( $dL_{ТО}$ , км), времени моделирования ( $T_m$ , дни), а также количество автомобилей ( $A$ ) и номер закона распределения суточного пробега ( $Z_L$ ).

2. Далее генерируется начальное состояние наработки после последнего ТО ( $L_{\Sigma i}$ , км). Номер дня ( $j$ ), а также номер автомобиля ( $i$ ) приравниваются единице. После этого генерируется значение длины рейса ( $L_{pi}$ ) и суточного пробега ( $L_c$ ).

3. Далее сравниваются значения длины рейса и суточного пробега. Если длина рейса больше суточного пробега, то из длины рейса вычитается значение суточного пробега ( $L_{pi} = L_{pi} - L_c$ ).

4. Номер автомобиля увеличивается на единицу. Проверяется, больше ли номер автомобиля количества автомобилей.

Если нет, то проверяется, равна ли длина рейса нулю. Если да, то генерируется значение длины рейса и все действия повторяются. Если нет, то генерируется суточный пробег и все действия повторяются.

Если номер автомобиля больше количества автомобилей, то номер дня увеличивается на единицу и проверяется, больше ли номер дня времени моделирования. В случае, когда задается число реализаций  $N_{realiz}$ , то проверяется достижение количества реализованных ТО  $N_{ТО} \geq N_{realiz}$ . Если  $N_{ТО} \geq N_{realiz}$  или если достигнут конец цикла моделирования, то значения фактических периодичностей ТО выводятся на печать. Работа программы за-



вершается. Если нет, то номер автомобиля увеличивается на единицу, и все действия повторяются.

5. Если длина рейса меньше суточного пробега, то к значению наработки после последнего отказа прибавляется значение суточного пробега ( $L_{\Sigma} = L_{\Sigma} + L_c$ ).

6. Далее сравниваются значения наработки после последнего отказа и норматива периодичности ТО. Если наработка после последнего отказа больше или равна значению норматива периодичности ТО, то проверяется, больше ли значение наработки после последнего ТО, чем сумма значений норматива периодичности ТО и допустимого отклонения периодичности ТО. Если да, то фактическая периодичность ТО ( $L_{TO}$ ) приравнивается разнице значений наработки после последнего ТО и суточного пробега ( $L_{TO} = L_{\Sigma i} - L_c$ ), значение наработки после последнего ТО приравнивается значению суточного пробега, а значение наработки после последнего ТО за предыдущий день приравнивается нулю. Если нет, то значение фактической периодичности ТО приравнивается значению наработки после последнего ТО, и эта наработка приравнивается нулю. В обоих случаях длина рейса приравнивается нулю, записывается значение фактической периодичности ТО и выполняются действия из пункта 4.

7. Если наработка после последнего отказа меньше значения норматива периодичности ТО, то выполняются действия из пункта 4.

Следующий этап теоретических исследований заключается в разработке гипотез о виде закономерности влияния суточного пробега и длины рейса на фактическую периодичность ТО. Фактическая периодичность ТО характеризуется средним значением  $\overline{L_{TO}^{(\Phi)}}$  и коэффициентом вариации  $V_{L_{TO}}$ . Суточный пробег рассматривается в том случае, когда он превышает или равен длине рейса. В ином случае он не имеет значения, и рассматривается длина рейса. Для характеристики длины рейса (суточного пробега) также используется среднее значение  $\overline{L_p}$  и коэффициент вариации  $V_{L_p}$ . Таким образом, необходимо рассмотреть четыре зависимости.

Гипотеза 1. Средняя фактическая периодичность ТО связана со средней длиной рейса прямой линейной зависимостью и описывается моделью:

$$\overline{L_{TO}^{(\Phi)}} = A_0 + A_1 \overline{L_p},$$

где  $A_0, A_1$  – эмпирические коэффициенты.

Такое предположение основано на том, что с увеличением длины рейса отличие суммы ее реализаций от нормативной периодичности ТО будет увеличиваться.

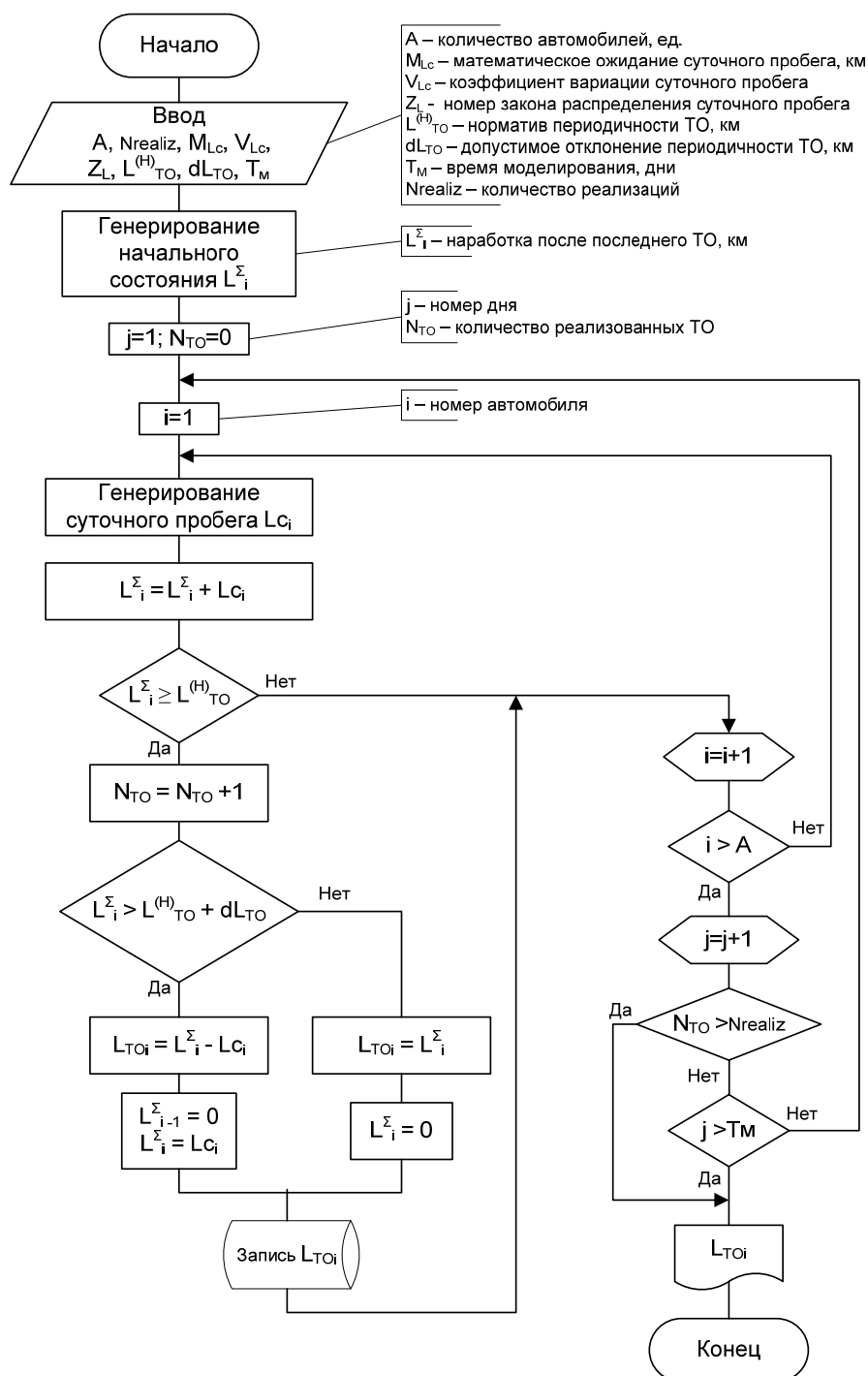


Рис. 2. Блок-схема алгоритма имитационной модели влияния среднесуточного пробега и длины рейса на фактическую периодичность ТО

Гипотеза 2. Средняя фактическая периодичностью ТО связана с коэффициентом вариации длины рейса прямой линейной зависимостью. При этом сила влияния определяется средней длиной рейса: чем больше  $\bar{L}_p$ , тем сильнее влияние  $V_{L_p}$ . Эта зависимость описывается моделью:

$$\overline{L_{TO}^{(\Phi)}} = A_0 + A_1 V_{L_p}.$$

Теоретически интервал варьирования периодичности ТО составляет  $L_{\text{ТО}}^{(\text{н})} - \Delta L_{\text{ТО}} \dots L_{\text{ТО}}^{(\text{н})} + L_{\text{р}}^{(\text{max})}$ . С увеличением коэффициента вариации длины рейса увеличивается максимальная длина рейса  $L_{\text{р}}^{(\text{max})}$  и соответственно средняя фактическая периодичность ТО. При большей длине рейса  $L_{\text{р}}^{(\text{max})}$  имеет большее значение, поэтому увеличение длины рейса ведет к большему влиянию коэффициента вариации длины рейса на периодичность ТО.

Гипотеза 3. Коэффициент вариации периодичности ТО связан со средней длиной рейса прямой линейной зависимостью и описывается моделью:

$$V_{L_{\text{ТО}}} = A_0 + A_1 \overline{L}_{\text{р}},$$

где  $A_0, A_1$  – эмпирические коэффициенты.

Как показано выше, с увеличением средней длины рейса увеличивается максимальная длина рейса  $L_{\text{р}}^{(\text{max})}$ , и это ведет к увеличению коэффициента вариации периодичности ТО.

Гипотеза 4. Коэффициент вариации периодичности ТО связан с коэффициентом вариации длины рейса линейной зависимостью. Сила влияния определяется средней длиной рейса (рис. 5): чем больше  $\overline{L}_{\text{р}}$ , тем сильнее влияние  $V_{L_{\text{р}}}$ , причем в области малых (линия 1) и средних (линия 2) значений  $\overline{L}_{\text{р}}$  эта зависимость прямая, а в зоне больших (линия 3) – обратная. Рассматриваемая зависимость описывается моделью:

$$V_{L_{\text{ТО}}} = A_0 + A_1 V_{L_{\text{р}}}.$$

При малых значениях длины рейса коэффициент вариации  $V_{L_{\text{р}}}$  не может оказать заметного влияния как на среднее значение фактической периодичности ТО, так и на коэффициент ее вариации. При повышении средней длины рейса интервал варьирования  $L_{\text{ТО}}^{(\text{ф})}$  значительно увеличивается, и в этих условиях  $V_{L_{\text{р}}}$  существенно влияет на коэффициент вариации фактической периодичности ТО. При значениях длины рейса около 70% от нормативной периодичности ТО и более возможны только два варианта фактической периодичности ТО:  $L_{\text{ТО}}^{(\text{ф})} = L_{\text{р}}$  или  $L_{\text{ТО}}^{(\text{ф})} = 2L_{\text{р}}$ . В обоих вариантах отклонение от нормативной периодичности составит около 30%. При этом изменение  $L_{\text{р}}$  в любую сторону приведет к уменьшению этого отклонения и снижению коэффициента вариации периодичности ТО.

Гипотезы о виде математических моделей нуждаются в проверке на основе имитационного эксперимента.

## Список литературы

1. Захаров, Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 127 с.

## **ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ ПНЕВМОПОДВЕСКИ АВТОБУСОВ KAROSA C934**

*А.В. Мальшаков, А.Акжол Уулу*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Развитие нефтегазового комплекса Западной Сибири неразрывно связано с надежностью транспортного обслуживания [1, 10, 11]. Нефтегазодобывающие предприятия для обеспечения производственной деятельности используют большой парк специальной техники различного назначения [8, 23]. Кроме специальной техники и автомобилей, непосредственно участвующих в производственных процессах, важную роль играют транспортные средства для перевозки персонала.

В автомобиле одним из важных элементов являются механизмы подвески. В районах Крайнего Севера необходимо учитывать влияние климатических условий на надежность автомобилей [2, 3, 4, 5, 6, 10, 12]. Надежность подвески актуальна для автобусов большого класса, так как от ее состояния существенно зависит безопасность пассажиров.

В ОАО «Сургутнефтегаз» количество автобусов составляет 35% от парка автомобилей. В конструкции подвески автобусов большого класса используют пневмобаллоны. Опыт показывает, что в зимнее время существенно возрастает количество отказов по сравнению с летним периодом [9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Целью исследования является снижение затрат на эксплуатацию путем установления закономерностей формирования потока отказов пневмоподвески автобусов большого класса с учетом влияния сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации, а также совершенствование на этой основе методик определения потребности в запасных частях.

Для достижения поставленной цели решался ряд задач, сформулированных с учетом системного подхода. В рамках ранее созданной концепции разработаны требования к модели формирования надежности подвески автобусов, установлена структура изучаемой системы [24].

Для оценки влияния климатических факторов [2] на надежность пневмоподвески автобусов проведены экспериментальные исследования. При анализе состояния вопроса были выделены следующие факторы: 1 фактор - температура воздуха, 2 фактор - доля дней с осадками. Эксперимент проводился в три этапа. На первом этапе собирались статистические данные о фактических значениях температуры воздуха, числе дней с осадками. На втором этапе производился сбор данных об интенсивности эксплуатации автобусов. На третьем этапе собирались данные об отказах пневмоподвески в эксплуатации. На основе полученных данных рассчитывалась интенсивность отказов для каждого месяца.

Обработка результатов производилась по известным методикам [7, 20, 21, 22]. Экспериментальные данные сгруппированы по маркам и моделям автобусов. Для моделирования с помощью регрессионных моделей использовалась программа «REGRESS» [12].

Результаты эксперимента приведены на рис. 1 и 2.

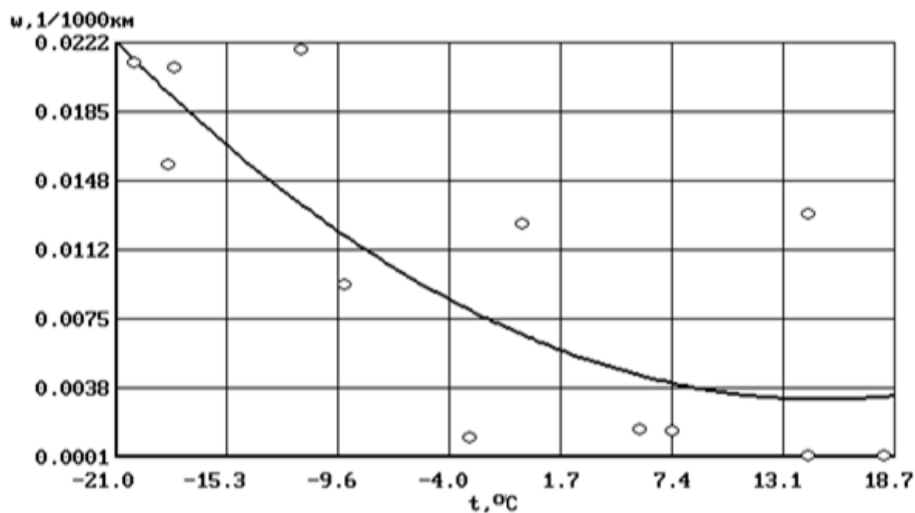


Рис. 1 Влияние температуры воздуха на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов KAROSA C934

При обработке результатов эксперимента по установлению влияния температуры воздуха на параметр потока отказов установлено следующее.

Наилучшую аппроксимацию экспериментальных данных обеспечивает квадратичная модель вида  $y=a+b(X-X_0)^2$ . Оценка тесноты связи показала, что коэффициент корреляции при линейаризации составил  $r=0,99$ , уровень его значимости оценивался по критерию Стюдента  $t=4,2$ , значение которого превысило табличное с вероятностью 0,99.

Адекватность уравнения оценивалась по критерию Фишера. Дисперсионное отношение Фишера превысило табличное значение с вероятностью 0,99, что свидетельствует об адекватности выбранной модели. Средняя ошибка аппроксимации составила  $E=6,1\%$ , коэффициент эластичности  $K_{\text{эласт}}=0,6$ .

Во второй части эксперимента проверялось влияние доли дней с осадками на надежность пневмоподвески автобусов большого класса (рис. 2).

При обработке результатов эксперимента установлено следующее.

Наилучшую аппроксимацию экспериментальных данных обеспечивает степенная модель вида  $y=ax^b$ . Оценка тесноты связи показала, что коэффициент корреляции при линейаризации составил  $r=0,98$ , уровень его значимости оценивался по критерию Стюдента, значение которого превысило табличное с вероятностью 0,99.

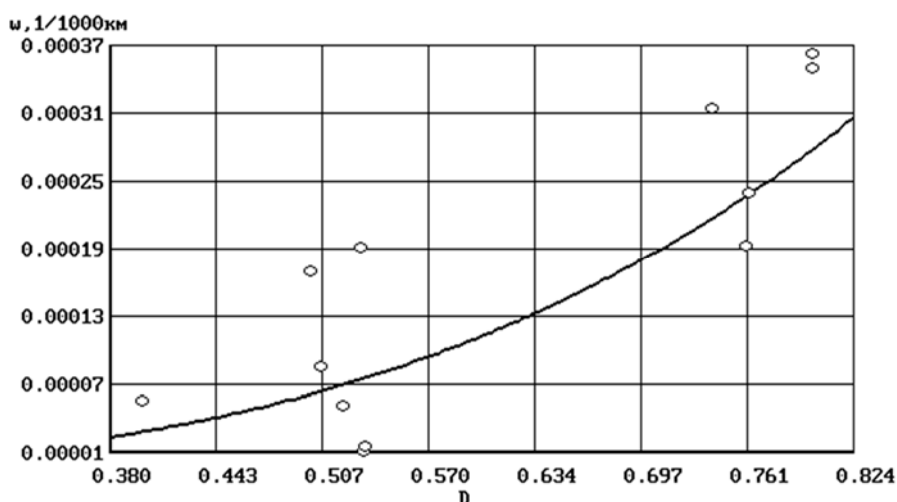


Рис. 2. Влияние доли дней с осадками на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов KAROSA C934

Адекватность уравнения оценивалась по критерию Фишера. Дисперсионное отношение Фишера превысило табличное значение с вероятностью 0,99, что свидетельствует об адекватности выбранной модели. Средняя ошибка аппроксимации составила  $E=7,5\%$ , коэффициент эластичности  $K_{\text{эласт}}=0,1$ .

На основе проведенных исследований были сформулированы следующие выводы.

1. На надежность пневмоподвески влияет температура воздуха. Низкая температура воздуха ведет к повышению жесткости материала пневмобаллона, поэтому деформации в процессе работы пневмоподвески приводят к его разрушению.

2. Вторым сезонным фактором, существенно влияющим на надежность пневмоподвески, является доля дней с осадками. Автобусов зимой часто эксплуатируются на заснеженных дорогах, что, в свою очередь, ведет к налипанию снега у арок колес. При большом пробеге автобуса от одного пункта до другого происходит обледенение пневмобаллона и защитного кожуха возле колеса. В свою очередь это приводит к протиранию и разрыву корда.

3. На основе полученных данных возможно корректирование расчетной потребности в запасных частях с учетом влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески.

## Список литературы

1. Захаров, Н.С. Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, К.В. Бугаев, Д.С. Быков, В.В. Ефимов, А.А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. С. 77-79.

2. Захаров, Н.С. Взаимосвязь между климатическими факторами [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 26-29.
3. Захаров, Н.С. Влияние неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей на время простоя исполнителей технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, В.Н. Карнаухов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 12-2. – С. 167-173.
4. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В. Вознесенский, Л.В. Бачинин, А.Н. Ракитин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
5. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на оптимальное количество постов технического обслуживания автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В., Абакумов Е.С. Шевелев // Транспорт Урала. – 2008. – № 1. – С. 72-76.
6. Захаров, Н.С. Влияние условий эксплуатации на долговечность автомобильных шин [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – 139 с.
7. Захаров, Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105-111.
8. Захаров, Н.С. Методика сравнительной оценки потребительских свойств автомобилей / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, В.А. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 158-160.
9. Захаров, Н.С. Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 12-2. – С. 186-191.
10. Захаров, Н.С. Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.И. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 6. – С. 107-113.
11. Захаров, Н.С. Проблемы обеспечения работоспособности автомобилей в условиях Западной Сибири [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, С.Ю. Кичигин, Е.С. Шевелев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2008. – Т. 33. – № 1. – С. 76-77.
12. Захаров, Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.
13. Захаров, Н.С. Структура системы при моделировании расхода запасных частей для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 193-195.
14. Захаров, Н.С. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте [Текст] / Н.С. Захаров, С.А. Савин, М.М. Иванкив, А.А. Лушников // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
15. Захаров, Н.С. Целевая функция при управлении снабжением запасными частями для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 108-110.
16. Зиганшин, Р. Моделирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов [Текст] / Р. Зиганшин, А. Зиганшина, Н. Захаров, В. Савчугов // Логистика. – 2013. – № 4 (77). – С. 50-52.
17. Зиганшин, Р.А. Формирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных фак-

- торов [Текст] / Р.А. Зиганшин, Н.С. Захаров, А.В. Зиганшина // Перспективы науки. – 2013. – № 10 (49). – С. 11-17.
18. Новоселов, О.А. Влияние сезонных условий на интенсивность эксплуатации бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / О.А. Новоселов, В.Н. Пермяков, Е.И. Макаров // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. – № 3. – С. 177-180.
  19. Новоселов, О.А. Закономерности формирования расхода запасных частей для транспортно-технологических машин [Текст] / О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 288–290.
  20. Пермяков, В.Н. Моделирование закономерностей распределения наработок на отказ бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Электронный ресурс] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №2. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2435> (доступ свободный). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
  21. Пермяков, В.Н. Оценка надежности бульдозеров Б170М1Б.01В4 при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 199-201.
  22. Резник, Л.Г. Корректирование норм пробега шин [Текст] / Л.Г. Резник, Н.С. Захаров // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 11. – С. 29-31.
  23. Сервис транспортных, технологических машин и оборудования в нефтегазодобыче: Учебное пособие [Текст] / Н.С. Захаров, А.И. Яговкин, С.А. Асеев и др. Под редакцией Н.С. Захарова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 508 с.
  24. Терехов, А.С. Оценка надёжности пневматической подвески автобусов большого класса [Текст] / А.С. Терехов, А.Н. Макарова, А.В. Мальшаков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 232-235.

УДК: 629.113

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ АВТОБУСОВ KAROSA C934**

*А.В. Мальшаков, А.Акжол Уулу*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Работа нефтегазовой отрасли тесно связана с надежностью транспортного обслуживания [1, 10, 14, 23]. Нефтяные компании для обеспечения производственной деятельности используют специальную технику различного назначения. Важную роль в обеспечении транспортного обслуживания играют автобусы большого класса, используемые для перевозки персонала [8].

В условиях Крайнего Севера важно учитывать влияние климатических условий на надежность автомобилей [3, 4, 5, 6, 9, 11]. Для автобусов большого класса особо актуальна надежность подвески, так как от ее состояния зависит комфорт и безопасность пассажиров.

В компании ОАО «Сургутнефтегаз» эксплуатируют около 19 тыс. единиц подвижного состава, из них 35% составляют автобусы большого



класса. В конструкции подвески таких автобусов используются пневмобаллоны. Опыт показывает, что в зимнее время существенно возрастает интенсивность их отказов по сравнению с летним периодом. Кроме того, по сезонам меняется интенсивность эксплуатации машин [18]. Это ведет к неравномерной потребности в запасных частях, постах обслуживания и ремонта, персонале [13, 15, 16, 17, 19, 21, 20, 22].

Целью исследования является снижение затрат на эксплуатацию путем установления закономерностей формирования потока отказов пневмоподвески автобусов большого класса с учетом влияния сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации, а также совершенствование на этой основе методик определения потребностей в запасных частях.

Для достижения поставленной цели решался ряд задач, сформулированных с учетом системного подхода [7]. Одной из задач исследования является составление математической модели для описания закономерностей формирования потока отказов пневмоподвески автобусов большого класса с учетом влияния сезонной вариации и интенсивности условий эксплуатации.

Оценка влияния климатических факторов на надежность пневмоподвески автобусов проводилась на основе экспериментальных исследований. Установлено, что значимо влияют на интенсивность отказов температура воздуха  $t$  и доля дней с осадками  $D$  [2]. На основе полученных данных об интенсивности отказов для каждого месяца и соответствующих значений показателей климатических факторов выдвинута гипотеза о возможности описания исследуемой зависимости моделью на главных эффектах следующего вида

$$\lambda = a_0 + a_1(t - t_0)^2 + a_2 D^{a_3},$$

где  $a_0 \dots a_3$  – эмпирические коэффициенты.

На рис. 1 представлен график последней модели.

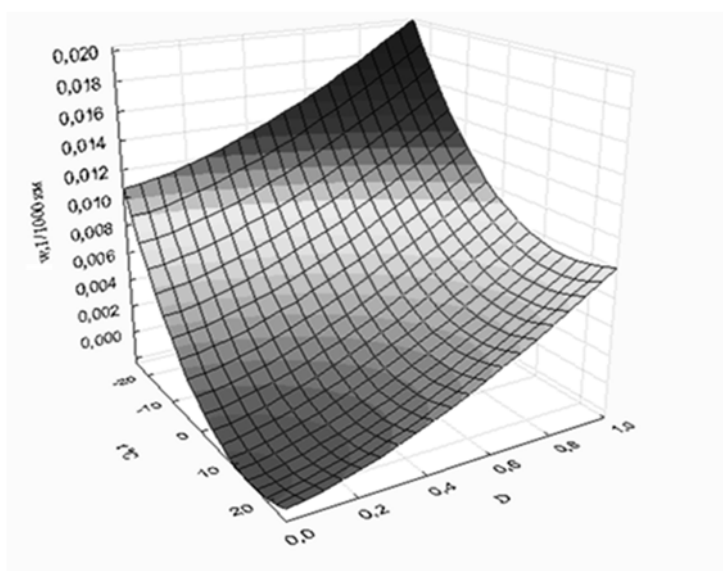


Рис. 1. Влияние температуры воздуха и доли дней с осадками на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов большого класса KAROSA C934 (модель на главных эффектах)

Анализ показал, что данная модель не в полной мере соответствует физическому смыслу изучаемого процесса: при низких температурах в зимний период года интенсивность отказов возрастает, при увеличении в этих условиях доли дней с осадками это влияние еще сильнее. При положительных температурах данной зависимости не должно быть. В модели на главных эффектах учесть совместно влияние факторов невозможно. Следовательно, необходимо использовать модель со смешанными эффектами.

Модель со смешанными эффектами имеет общий вид:

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t^2 D^{1,45} + A_4 t D^{1,45} + A_5 D^{1,45},$$

де  $A_0 \dots A_5$  – эмпирические коэффициенты.

Для оценки значимости смешанных эффектов последняя модель линеаризована путем замены переменных:

$$\lambda = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4 + A_5 X_5.$$

Для оценки адекватности модели, определения численных значений ее параметров и статистических характеристик использовалась программа «REGRESS 2.5» [12]. К смешанным эффектам в последней модели относятся 4-е и 5-е слагаемые. Расчеты показали, что коэффициент парной корреляции между  $X_3 = t^2 D^{1,45}$  и  $\lambda$  составил 0,76, а между  $X_4 = t D^{1,45}$  и  $\lambda$  – 0,74 (табл. 1). Проверка по критерию Стьюдента показала, что с вероятностью 0,99 оба смешанных эффекта статистически значимо влияют на интенсивность отказов пневмобаллонов (табл. 2).

Таблица 1

Матрица коэффициентов парной корреляции

|           | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\lambda$ | -0,65 | 0,59  | 0,76  | -0,74 | 0,79  |
| $X_1$     | 1     | -0,28 | -0,59 | 0,96  | -0,71 |
| $X_2$     | -0,28 | 1     | 0,89  | -0,44 | 0,15  |
| $X_3$     | -0,59 | 0,898 | 1     | -0,73 | 0,5   |
| $X_4$     | 0,96  | -0,44 | -0,73 | 1     | -0,73 |
| $X_5$     | -0,71 | 0,157 | 0,5   | -0,73 | 1     |

На рис. 2 представлен график модели со смешанными эффектами.

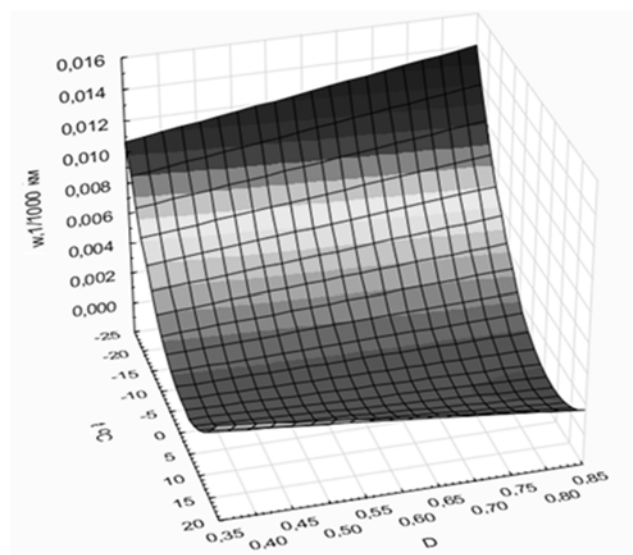


Рис. 2. Влияние температуры воздуха и доли дней с осадками на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов большого класса KAROSA (модель со смешанными эффектами)

Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера. Дисперсионное отношение Фишера превысило табличное значение с вероятностью 0,95, что свидетельствует об адекватности выбранной модели. Средняя ошибка аппроксимации составила 4,6%.

Таблица 2

Матрица вероятностей значимости коэффициентов парной корреляции

|                | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\lambda$      | 0,98           | 0,95           | 0,99           | 0,99           | 0,99           |
| X <sub>1</sub> | 0,99           | 0              | 0,95           | 0,99           | 0,99           |
| X <sub>2</sub> | 0              | 0,99           | 0,99           | 0,80           | 0              |
| X <sub>3</sub> | 0,95           | 0,99           | 0,99           | 0,99           | 0,90           |
| X <sub>4</sub> | 0,99           | 0,80           | 0,99           | 0,99           | 0,99           |
| X <sub>5</sub> | 0,99           | 0              | 0,90           | 0,99           | 0,99           |

На основе полученных результатов можно моделировать поток отказов элементов бульдозеров, что позволит планировать объемы ремонтных работ, потребность в трудовых и материальных ресурсах, запасных частях [24].

## Список литературы

1. Захаров, Н.С. Актуальные проблемы эксплуатации автомобилей и транспортно-технологических машин в нефтегазодобывающем регионе [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, К.В. Бугаев, Д.С. Быков, В.В. Ефимов, А.А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 6. С. 77-79.
2. Захаров, Н.С. Взаимосвязь между климатическими факторами [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 26-29.
3. Захаров, Н.С. Влияние неравномерности интенсивности эксплуатации автомобилей на время простоя исполнителей технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, В.Н. Карнаухов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 12-2. – С. 167-173.
4. Захаров, Н.С. Влияние сезонной вариации факторов на интенсивность расходования ресурсов при эксплуатации транспортно-технологических машин [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.В. Вознесенский, Л.В. Бачинин, А.Н. Ракитин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2006. – № 1. – С. 75-79.
5. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на оптимальное количество постов технического обслуживания автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В., Абакумов Е.С. Шевелев // Транспорт Урала. – 2008. – № 1. – С. 72-76.
6. Захаров, Н.С. Влияние условий эксплуатации на долговечность автомобильных шин [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – 139 с.
7. Захаров, Н.С. Использование ТР-распределения при моделировании процессов изменения качества автомобилей [Текст] / Н.С. Захаров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 3. – С. 105-111.
8. Захаров, Н.С. Методика сравнительной оценки потребительских свойств автомобилей / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, В.А. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 158-160.
9. Захаров, Н.С. Оценка надежности автомобилей с учетом вариации фактической периодичности технического обслуживания [Текст] / Н.С. Захаров, В.Г. Логачев, А.Н. Макарова // Известия Тульского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2012. – № 12-2. – С. 186-191.
10. Захаров, Н.С. Проблема обеспечения надежности шин автомобилей, обслуживающих объекты нефтегазового комплекса [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.И. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 6. – С. 107-113.
11. Захаров, Н.С. Проблемы обеспечения работоспособности автомобилей в условиях Западной Сибири [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, С.Ю. Кичигин, Е.С. Шевелев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2008. – Т. 33. – № 1. – С. 76-77.
12. Захаров, Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя [Текст] / Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 52 с.
13. Захаров, Н.С. Структура системы при моделировании расхода запасных частей для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 193-195.
14. Захаров, Н.С. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте [Текст] / Н.С. Захаров, С.А. Савин, М.М.Иванкив, А.А. Лушников // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
15. Захаров, Н.С. Целевая функция при управлении снабжением запасными частями для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче [Текст] / Н.С. Захаров, О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 108-110.

16. Зиганшин, Р. Моделирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов [Текст] / Р. Зиганшин, А. Зиганшина, Н. Захаров, В. Савчугов // Логистика. – 2013. – № 4 (77). – С. 50-52.
17. Зиганшин, Р.А. Формирование потока требований на запасные части при эксплуатации специальной нефтепромысловой техники с учетом влияния сезонных факторов [Текст] / Р.А. Зиганшин, Н.С. Захаров, А.В. Зиганшина // Перспективы науки. – 2013. – № 10 (49). – С. 11-17.
18. Новоселов, О.А. Влияние сезонных условий на интенсивность эксплуатации бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / О.А. Новоселов, В.Н. Пермяков, Е.И. Макаров // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. – № 3. – С. 177-180.
19. Новоселов, О.А. Закономерности формирования расхода запасных частей для транспортно-технологических машин [Текст] / О.А. Новоселов, Р.А. Зиганшин, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 288–290.
20. Пермяков, В.Н. Моделирование закономерностей распределения наработок на отказ бульдозеров при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Электронный ресурс] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Инженерный вестник Дона. – 2014. – №2. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2435> (доступ свободный). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
21. Пермяков, В.Н. Оценка надежности бульдозеров Б170М1Б.01В4 при строительстве оснований для нефтегазовых объектов [Текст] / В.Н. Пермяков, О.А. Новоселов, А.Н. Макарова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 199-201.
22. Резник, Л.Г. Корректирование норм пробега шин [Текст] / Л.Г. Резник, Н.С. Захаров // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 11. – С. 29-31.
23. Сервис транспортных, технологических машин и оборудования в нефтегазодобыче: Учебное пособие [Текст] / Н.С. Захаров, А.И. Яговкин, С.А. Асеев и др. Под редакцией Н.С. Захарова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 508 с.
24. Терехов, А.С. Оценка надёжности пневматической подвески автобусов большого класса [Текст] / А.С. Терехов, А.Н. Макарова, А.В. Мальшаков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 232-235.

УДК 656.11

## **РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСУДД В Г. ТЮМЕНЬ**

*В.В. Морозов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Образование транспортных заторов является актуальной проблемой функционирования транспортной инфраструктуры многих крупных городов. Впоследствии данное явление влечёт за собой такие негативные последствия, как [6]:

- 1) Увеличение расхода топлива автомобильного транспорта;
- 2) Ухудшение экологии;
- 3) Снижение уровня безопасности дорожного движения;

- 4) Социальный дискомфорт;
- 5) Понижение уровня жизни.

Отрицательным итогом для большинства крупных городов, столкнувшихся с этой проблемой, становится снижение статуса города жизни, что в свою очередь может повлечь за собой убыль населения, отток экономических ресурсов и т.д. [6][7].

По мнению ряда авторов, одной из главных причин образования транспортных заторов является диспропорция уровня развития улично-дорожной сети по отношению к высокому уровню автомобилизации. Диспропорция заключается в том, что темпы развития улично-дорожной сети значительно уступают увеличению числа автомобилей в городах[6].

Научный прогноз, проведённый Г.А. Гольцом, показывает, что после того, как уровень автомобилизации преодолевает отметку 380 автомобилей на 1000 человек, образуется спираль автомобильной зависимости, которая циклично протекает по следующим этапам [2]:

- 1) Постоянный рост уровня автомобилизации;
- 2) Автомобилеориентированная транспортная политика;
- 3) Деграция альтернативных видов транспорта;
- 4) Деграция городов;
- 5) Урбанизация пригородов.

Далее, вышеуказанный перечень повторяется.

Стоит отметить, что в конце 2014 года автомобилизация г. Тюмени уже достигла уровня 430 автомобилей на 1000 человек [1]. Поэтому не исключено, что в ближайшее время инфраструктура в полной мере ощутит на себе последствия, вызванные спиралью автомобильной зависимости

В настоящее время в мировой практике сложились два традиционных и один относительно новый способ решения проблемы транспортных заторов, которые можно охарактеризовать соответственно как американский, европейский и японский методы. Краткая характеристика, а также положительные и отрицательные стороны каждого из методов представлены в табл.1 [3][5].

Проанализировав данные, приведённые в табл.1, можно сделать вывод о том, что в настоящее время, самым перспективным, долговременным и эффективным способом разрешения проблемы образования транспортных заторов, является японский метод, который состоит в использовании интеллектуально-транспортных систем. Стоит также отметить, что и США, и страны Европы, в конечном итоге также были вынуждены прибегнуть к применению автоматизированных и интеллектуально-транспортных систем управления дорожным движением [3].

В Российской Федерации 2011 г., специалистами ЦЭМИ РАН также был проведён анализ ряда мер, которые имели непосредственное отношение к вышеупомянутым американским и европейским методам. В результате проведённого анализа, рассматриваемые меры (дорожно-строительные и организационно-административные) были признаны неэффективными при-

мерно по тем же причинам, указанным в табл. 1. Кроме этого, специалисты ЦЭМИ РАН также указывают на то, что на сегодняшний день наиболее перспективным и эффективным способом решения проблемы образования транспортных заторов является внедрение интеллектуально-транспортных и автоматизированных систем управления дорожным движением. Дополнительным аргументом в пользу применения данного метода, специалисты ЦЭМИ РАН приводят возможность сбора данных о транспортной ситуации города, что в свою очередь позволяет делать спрогнозировать ситуацию на дорогах на определённый период времени [4].

Таблица 1

Американский, европейский и японский методы решения проблемы транспортных заторов. Краткая характеристика, положительные и отрицательные стороны

| Описание                      | Наименование метода                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                 |                                                                          |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1                             | 2                                                                                                                                                                                             | 3                                                                                                                                                                               | 4                                                                        |
| Краткая характеристика метода | Американский метод                                                                                                                                                                            | Европейский метод                                                                                                                                                               | Японский метод                                                           |
|                               | Развитие улично-дорожной сети и транспортной инфраструктуры (строительство новых дорог, мостов, туннелей, эстакад и т.д.; расширение уже построенных дорог, создание парковочных мест и т.д.) | Всевозможные ограничения движения частного транспорта (сужение дорог, ограничение скорости движения, повышение налогов, штрафов и т.д.)                                         | Внедрение интеллектуально-транспортных систем                            |
|                               |                                                                                                                                                                                               | Развитие общественного транспорта и сопутствующей инфраструктуры (увеличение автопарка общественного транспорта, внедрение новых маршрутов, устройство выделенных полос и т.д.) |                                                                          |
|                               |                                                                                                                                                                                               | Развитие альтернативных видов транспорта и способов передвижения (строительство велосипедных дорожек, пешеходных зон, и т.д.)                                                   |                                                                          |
| "+"                           | Относительно быстрый положительный эффект                                                                                                                                                     | Повышение спроса на пользование общественным транспортом                                                                                                                        | Снижение уровня аварийности                                              |
|                               |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                 | Уменьшение транспортных задержек                                         |
|                               |                                                                                                                                                                                               | В конечном итоге - снижение числа транспортных задержек                                                                                                                         | Повышение уровня организации дорожного движения                          |
|                               |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                 | Уменьшение расхода топлива                                               |
|                               |                                                                                                                                                                                               | Уменьшение нагрузки в период "часов-пик"                                                                                                                                        | Сокращение транспортных расходов в себестоимости произведённой продукции |

Продолжение таблицы 1

| 1   | 2                                                                         | 3                                                                                                                                                 | 4                                                                                                                                       |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                                           |                                                                                                                                                   | Снижение отрицательного влияния на окружающую среду                                                                                     |
| "-" | Высокая стоимость                                                         | Желаемый эффект достигается не быстро, а иногда не достигается вообще                                                                             | По причине того, что данный метод по сравнению с другими является относительно новым, существенных недостатков в применении не выявлено |
|     | Временный эффект                                                          | Отсутствие развития улично-дорожной сети                                                                                                          |                                                                                                                                         |
|     | Деграация общественного транспорта и альтернативных способов передвижения | Затруднение работы грузового транспорта                                                                                                           |                                                                                                                                         |
|     | Ухудшение экологической обстановки                                        | Невозможность применения некоторых способов альтернативного передвижения (например, посредством велосипеда) по причине климатических особенностей |                                                                                                                                         |
|     | В конечном итоге - ухудшении транспортной ситуации в несколько раз        | Высокая стоимость внедрения некоторых альтернативных видов транспорта (метрополитен, железная дорога и т.д.)                                      |                                                                                                                                         |
|     |                                                                           |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                         |

С января 2014г. и по настоящее время в г. Тюмени на базе предприятия МКУ "Тюменьгортранс" внедрена и функционирует Автоматизированная Система Управления Дорожным Движением с использованием программного обеспечения "СПЕКТР", разработанная ООО "РИПАС".

В систему входят 35 дорожно-светофорных объектов, находящихся на сквозном маршруте г. Тюмень по направлению "Червишевский тракт – ул. М.Тореза – ул. Профсоюзная – ул. Алебашевская – ул. Дружбы – Тобольский тракт". На 33 объектах располагаются 97 транспортных детекторов "Traficam", которые в режиме реального времени, по каждой из полос движения на перекрестках, осуществляют сбор данных по таким параметрам транспортного потока, как интенсивность и скорость движения транспортных средств, а также плотность и состав транспортного потока. На 29 объектах системы установлены купольные камеры видеонаблюдения, с помощью которого в режиме реального времени осуществляется мониторинг транспортной ситуации по вышеуказанному маршруту.



Спустя год после внедрения Автоматизированной Системы Управления Дорожным Движением в г. Тюмени с установкой вышеуказанных алгоритмов была собрана статистика интенсивности движения транспортных средств по направлениям для каждого объекта системы, оборудованного транспортными детекторами. Сбор данных производился по среднестатистическим характерным рабочим дням недели, то есть были исключены такие факторы как ДТП, дорожные работы или частные случаи нестандартной нагрузки улично-дорожной сети. Примеры статистические данных представлены на рис.1.

В дальнейшем планируется реализовать следующие задачи:

1. Произвести сбор данных и оценить дорожно-транспортную ситуацию до внедрения Автоматизированной Системы Управления Дорожным Движением по таким параметрам как интенсивность движения транспортных средств, пропускная способность и плотность транспортного потока.
2. Произвести сбор имеющихся данных после внедрения Автоматизированной Системы Управления Дорожным Движением в г. Тюмени по таким параметрам, как плотность, скорость и состав транспортного потока.
3. Произвести сбор данных интенсивности транспортных средств, а также данных указанных в пункте 2 за 2015 год.

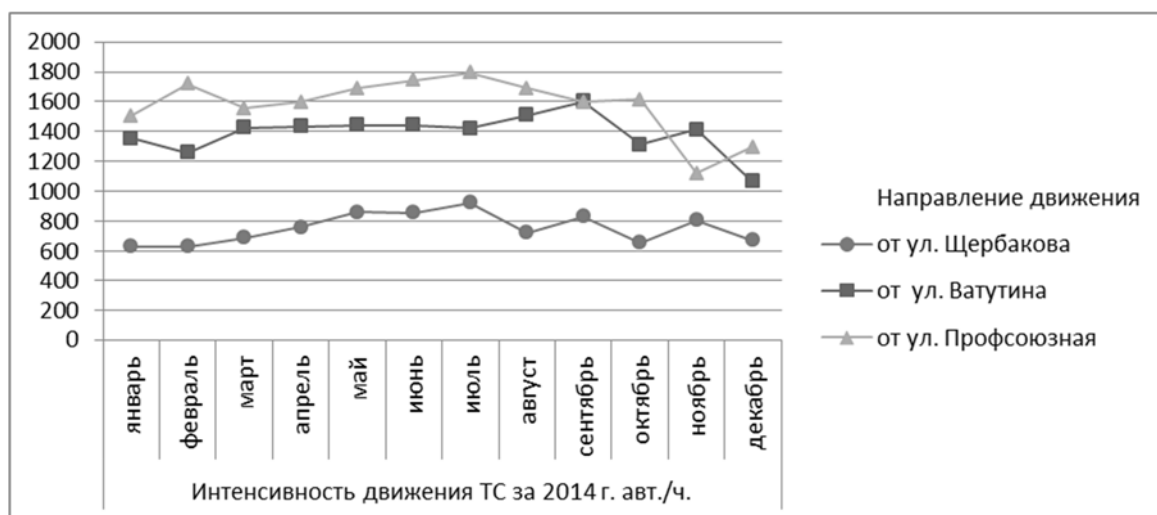


Рис.1. Интенсивность движения транспортных средств на перекрёстке ул. Профсоюзная и ул. Дружбы за 2014 г. по направлениям движения

4. Провести статистический анализ данных, указанных в пунктах 1-3 для оценки изменения пропускной способности на регулируемых пересечениях до и после внедрения Автоматизированной Системы Управления Дорожным Движением с целью оценки эффективности внедрения вышеуказанной системы и выявить возможные закономерности.

5. Смоделировать полученные экспериментальные данные в транспортной модели города в специализированных программных комплексах, провести оценку эффективности мероприятий.

6. Выявить закономерности изменения пропускной способности перекрестков в различных условиях.

7. Сформулировать практические предложения по дальнейшему совершенствованию организации дорожного движения в городах.

### Список литературы

1. Newsprom.Ru. Электронное интернет – издание – Режим доступа: [newsprom.ru/news/Obschestvo/202993.html](http://newsprom.ru/news/Obschestvo/202993.html) (10.03.13).
2. Гольц Г.А. Автодорожный комплекс в условиях взрывной автомобилизации: тенденции, закономерности, прогноз // Проблемы прогнозирования. – 2002. – N 4. – С. 81.
3. Козлов В.Н., Урличич Ю.М., Циклис Б.Е. О концептуальных подходах формирования и развития интеллектуальных транспортных систем в России. Транспорт Российской Федерации – 2009. – N 3–4. – С. 30–35
4. Макаров В.Л. Бахтизин А.Л. Журнал Бюджет. – 2011 – N 2. – С. 16 – 20.
5. Макаров Ю. Ф., Низовцев Ю. М., Анцыгин А. Способы решения транспортных проблем больших городов с помощью легких объемных магистралей-эстакад, этажи которых связаны переездами для автомобилей. – 2010. – С. 5 – 40.
6. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: Учебное пособие. – Хабаровск: Издательство ХГТУ – 2004 г. – С. 7 – 10.
7. Ховавко И.Ю. Экономический анализ пробок. Государственное управление. Электронный вестник. – 2014. – N 43. – С. 122 – 126.

УДК 656.11

## ПОНЯТИЕ ЗАТОРА. ФОРМИРОВАНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО МЕГАПОЛИСА

*Г.Н. Морозов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Одна из основных проблем, с которой мы ежедневно сталкиваемся при эксплуатации автомобильного транспорта на современных дорогах - это транспортные заторы. Что представляет собой транспортный затор? Транспортный затор - затруднение движения автомобильного транспорта из-за перегруженности проезжей части дороги [1].

Принятые в РФ Правила дорожного движения не содержат прямого определения понятий «затор» или «пробка» [2]. Косвенно, п. 13.2 указывает на один из признаков затора при проезде перекрёстка, — ситуацию, когда водитель вынужден остановиться на перекрёстке, иначе он создаст препятствие для движения транспортных средств в поперечном направлении.

Борьба с заторами - одна из главных городских задач по всему миру, т.к. наличие пробок отрицательно сказывается на функциональности города, что в итоге приводит к потерям ресурсов.

Приведём несколько примеров из истории [3]. Самыми известными крупными заторами считаются:

- Нью-Йорк, 1969 год. Пробка длиной в 70 км. Причина: крупный рок-фестиваль в городе.

- Чикаго, 2011 год. Произошел настоящий коллапс транспортной системы города, пробки из-за снежной бури продолжались до 12 часов.

- Сан-Паулу (рис. 1), 2013 год, на данный момент самый грандиозный дорожный затор за всю историю, достигший длины в 309 км.



Рис.1. Транспортные заторы в Сан-Паулу

Наличие транспортного затора - это показатель того, что на данном участке дороги существуют какие-либо проблемы. С чем они могут быть связаны? Нередко одной из важных причин является человеческий фактор. Легкомысленное, несерьёзное поведение на дороге, грубые нарушения правил дорожного движения нередко приводят к ДТП. Как следствие - образование заторов. Также существует ряд не менее важных проблем, с которыми могут быть связаны заторы. К ним можно отнести: нарушения в конструкции проезжей части; наличие сложных нерегулируемых перекрестков; отсутствие «карманов» на остановках общественного транспорта; нарушения в работе светофоров; наличие стоянок в необорудованных для этого местах дороги; блокирование движения для перемещения кортежей; ремонтные работы на дорогах; сложные погодные условия (бури, снегопады, ливни и т.п.) и, наконец, пожалуй, самое главное – все возрастающее несоответствие количества автотранспорта пропускной способности улично-дорожной сети города.

К чему приводят городские пробки? Итогом становится снижение пропускной способности проезжей части, участники движения тратят больше времени на то, чтобы добраться из одного пункта в другой, увеличивается расход топлива и, как следствие, количество вредных выбросов в

городскую среду. Также заторы - это лишние стрессы для водителя и жителей города, влияющие на падение уровня жизни.

Существуют различные методы борьбы с проблемой транспортных заторов. К ним относят: усовершенствование развязок и перекрестков [5], а также строительство новых; налаживание работы общественного транспорта и повышение его популярности среди населения; применение полос с переменным направлением движения; правильная регулировка работы светофоров; расширение проезжей части дорог; введение платы за въезд в определенные (проблемные) районы города; пропаганда рационального поведения на дороге; активное внедрение в практику управления дорожным движением компьютерных (интеллектуальных) технологий.

### Список литературы

1. Интерактивный словарь «Академик» [Электронный ресурс]/Режим доступа: [http://geography\\_ru.academic.ru/](http://geography_ru.academic.ru/)
2. Правила дорожного движения Российской Федерации 2015 [Текст]. – М.: Мир автотоник, 2015. – 64 с.
3. Савчук, А. Борьба с пробками в мире: эффективные способы [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <http://fb.ru/article/161017/borba-s-probkami-v-mire-effektivnyie-sposobyi>
4. Информационный ресурс Тюмени и Тюменской области [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <http://cod72.ru/probki>
5. Писцов А.В., Эртман Ю.А., Резник Л.Г. Приспособленность регулируемых пересечений к удовлетворению транспортного спроса в переменных условиях городского движения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 207-209.

УДК 656.13

## ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОТКАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ И ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*А.А. Панфилов, В.А. Ракитин*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

С каждым годом наблюдается тенденция роста цен на энергоносители, а в частности на жидкое моторное топливо, что приводит к значительным повышением затрат на эксплуатацию автомобиля. Увеличение затрат на эксплуатацию автомобилей при той же их производительности негативно сказывается на эффективной деятельности автотранспортных предприятий. Существует несколько способов снизить эти затраты [1], одним из которых является применение альтернативного более дешевого вида топлива, сжатого природного газа (КПГ). Однако существует ряд

проблем, которые препятствуют переводу автомобилей на работу по газодизельному циклу.

Одна из них - ограниченное количество газовых заправок. Предприятия ОАО «Газпром» планируют до 2020 года в 10 раз увеличить количество газовых автозаправок и довести их число до двух тысяч. Сейчас работают 208 таких заправок, их загруженность составляет всего 18%, так же отмечается, что Россия занимает 20 место в мире по количеству автомобилей, работающих на газомоторном топливе [3].

Другой проблемой является изменение надежности автомобилей переоборудованных на использование газомоторного топлива, двигатели которых не предназначен для этого вида топлива [1].

Для сравнения изменение надежности газодизельных и дизельных автомобилей в зависимости от сезонных условий были проанализированы данные об отказах за последние 3 года. Выбранные автомобили поделены на 2 группы: дизельные и дизельные автомобили переоборудованные на работу по газодизельному циклу (газодизельные). Все автомобили работали при идентичных условиях эксплуатации, на юге Тюменской области. Обслуживание производилось одинаково для всех автомобилей согласно регламентам.

Целью исследования является выявление влияния сезонных условий на изменение количества отказов дизельных и газодизельных автомобилей на линии.

На графиках (рис. 1 и 2) представлены изменения количества отказов дизельных и газодизельных автомобилей в течение года. Данные приведены на группы автомобилей состоящих из 10 ед. марки КамАЗ.

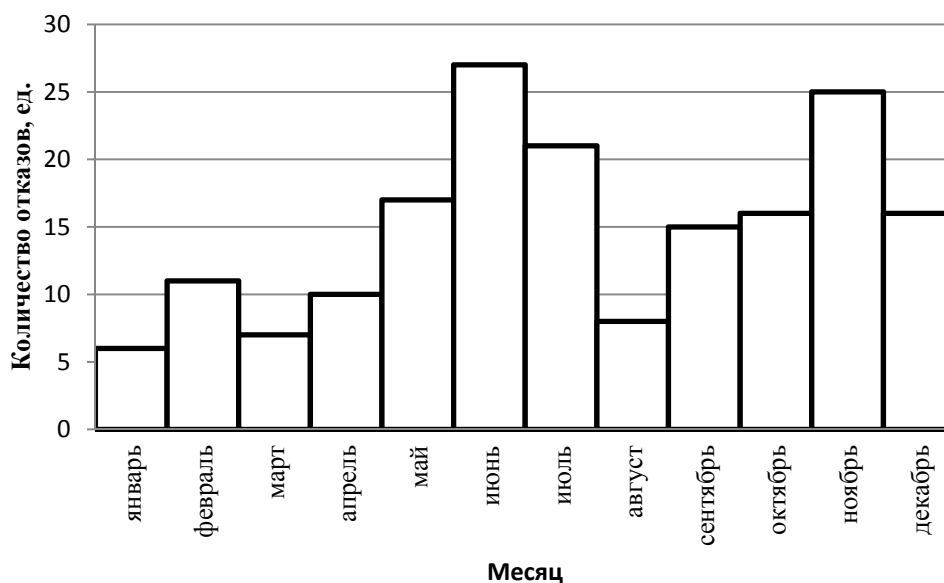


Рис. 1. График изменения количества отказов дизельных автомобилей в течение года

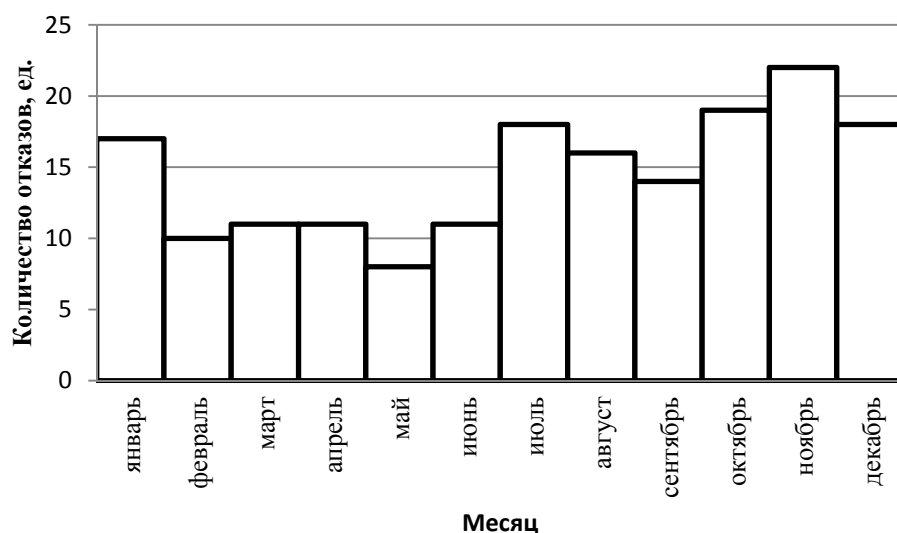


Рис. 2. График изменения количества отказов газодизельных автомобилей в течение года

Наибольшее количество отказов дизельных автомобилей наблюдается в июне и ноябре. В то время как у газодизельных автомобилей пик отказов приходится на январь, июль и ноябрь.

Для большей наглядности ниже приведены сравнения количества отказов дизельных и газодизельных автомобилей на одном графике (рис. 3.).

Проведенные исследования выявили, что в январе количество отказов газодизельных автомобилей значительно больше, по сравнению с дизельными, а дизельные автомобили имеют наибольший пик отказов в летнее время.

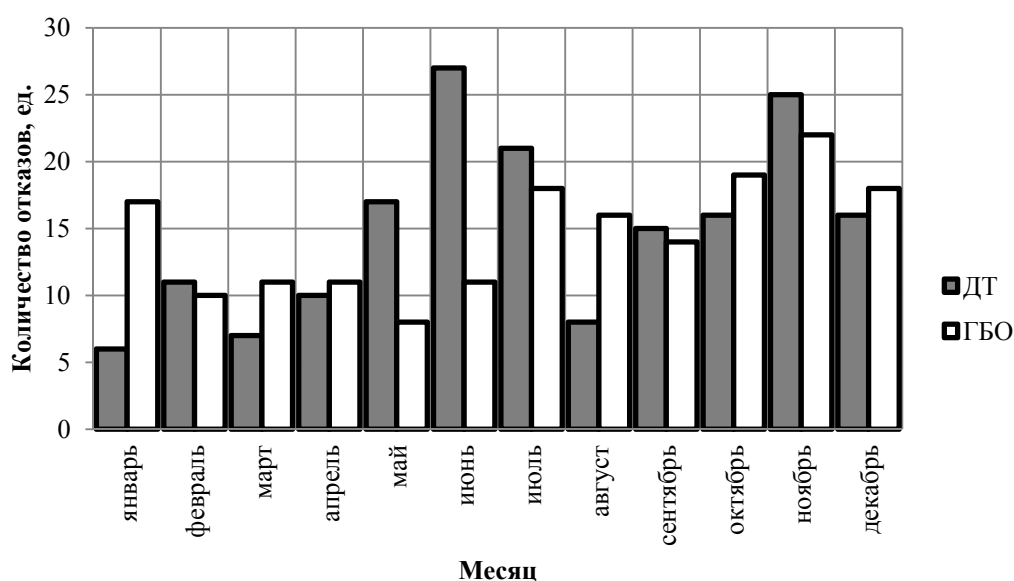


Рис. 3. График сравнения количества отказов дизельных и газодизельных автомобилей в течение года

Одной из причин этого может являться то, что использование газобаллонного оборудования на автомобиле с дизельным двигателем имеет больший срок службы элементов системы, обеспечивающей подачу топлива и больший ресурс двигателя до капитального ремонта в 1,5 – 2 раза, по сравнению с автомобилем, работающем на дизельном топливе [4].

При этом необходимо учитывать качество природного газа, т.к. из-за отрицательной температуры окружающей среды, газодизельные автомобили могут иметь проблемы с образованием конденсата.

Полученные результаты исследования направлены на выявление разницы во времени наступления отказа между дизельными и газодизельными автомобилями. Эту разницу можно использовать для корректирования планирования закупок запасных частей и проведения технического обслуживания и ремонта газодизельных автомобилей.

### Список литературы

1. Ракитин В.А. Анализ методик формирования рациональной структуры парка грузовых автомобилей // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. URL: [www.science-education.ru/121-18167](http://www.science-education.ru/121-18167).
2. Захаров Н.С. Оценка срока окупаемости газобаллонного оборудования с учетом изменения надежности газодизельных автомобилей / Н.С. Захаров, В.А. Ракитин // Инженерный вестник Дона, 2015, №2, ч.2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2916](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2916).
3. Об утверждении Программы по расширению использования компримированного природного газа в качестве моторного топлива на собственном транспорте организаций Группы Газпром в 2014-2017 годы. [Текст]: Приказ ОАО «Газпром» от 14 июля 2014 г. №338.
4. Токарев А.Н. Когда же будем «газовать»? Социально-экономические аспекты использования газомоторного топлива // Всероссийский экономический журнал. - 2008. - №10. URL: [http://www.econom.nsc.ru/eco/arhiv/ReadStatiy/2008\\_10/Tokarev](http://www.econom.nsc.ru/eco/arhiv/ReadStatiy/2008_10/Tokarev).

УДК 656.13

## ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ОТКАЗЫ АГРЕГАТОВ И УЗЛОВ ДИЗЕЛЬНЫХ И ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*А.А. Панфилов, В.А. Ракитин*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Автомобильный транспорт является неотъемлемой частью экономики страны. Основными преимуществами перевозок на автомобильном транспорте являются мобильность, универсальность, оперативность и другие [1]. От его эффективной эксплуатации зависит множество отраслей промышленности. Для повышения эффективности своей деятельности, АТП стремятся повысить производительность подвижного состава и при этом снизить затраты на его эксплуатацию [2, 3]. Одними из основных затрат являются расходы на топливо, которое становится с каждым годом все дороже [4]. Поэтому в настоящее

время многие автотранспортные предприятия стараются переоборудовать свои автомобили для работы на более дешевом виде топлива, таком как компримированный природный газ. Однако такой переход влияет на надежность подвижного состава, двигатель которого изначально не предназначен для данного вида топлива. Зарубежные авторы [5] отмечают нестабильную работу двигателя и упоминают о детонации, возникающей из-за переоборудования дизельного двигателя для работы на другом виде топлива. Так же при переоборудовании автомобиля для работы на природном газе, устанавливаются специальные толстостенные баллоны, способные выдерживать высокое давление, они имеют большую массу, 8 50-литровых баллонов весят более полутоны, что ведет к существенному снижению грузоподъемности автомобиля [6], которые увеличивают нагрузку на шасси автомобиля.

Нестабильная работа двигателя и детонация может отразиться на надежности работы коробки переключения передач (КПП), а постоянная дополнительная масса установленных баллонов - на шасси.

Для выявления влияния газобаллонного оборудования на надежность транспортного средства были выбраны две группы автомобилей марки КамАЗ по 10 ед., газодизельные и дизельные. Автомобили эксплуатировались в одинаковых условиях и обслуживались согласно регламенту.

Отказы были условно разделены на три группы: отказы двигателя (ДВС), КПП и шасси.

1. ДВС - отказы системы питания, смазки, охлаждения и зажигания.
2. КПП - отказы коробки переключения передач, раздаточной коробки, сцепления, карданного вала и главной передачи.
3. Шасси - все отказы, которые не учитывались в первых двух группах: неисправности деталей рамы, кузова, подвески, колес, ступиц и тормозной системы.

Исключением являются выход из строя приборов освещения и повреждения шин, т.к. эти отказы носят случайный характер и не зависят от типа топливной системы.

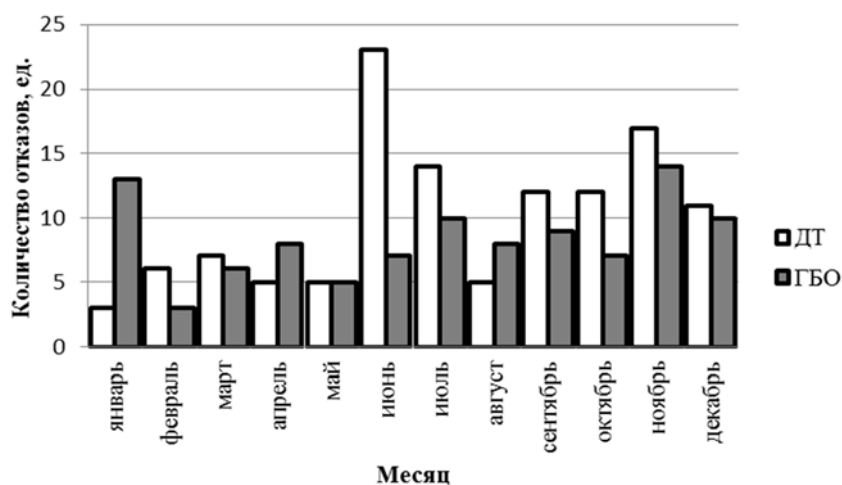


Рис.1. График сравнения количества отказов ДВС газодизельных и дизельных автомобилей



Из графика видно, что в отличие от дизельных автомобилей, у которых пик отказов двигателя приходится на летний сезон, у газодизельных автомобилей пик приходится на зимнее время.

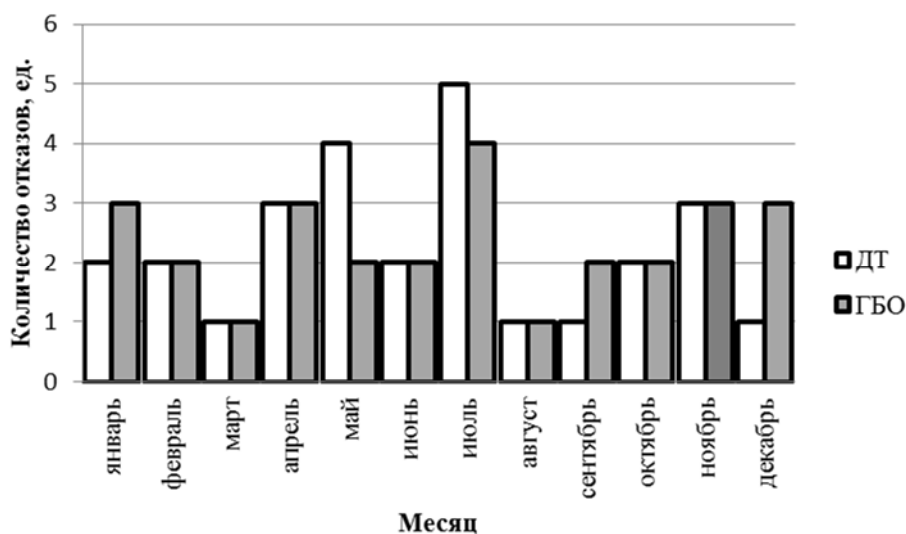


Рис. 2. График сравнения количества отказов КПП дизельных и газодизельных автомобилей

Как и в случае с ДВС, пик отказов у газодизельных автомобилей приходится на зимний период, в отличие от дизельных автомобилей.

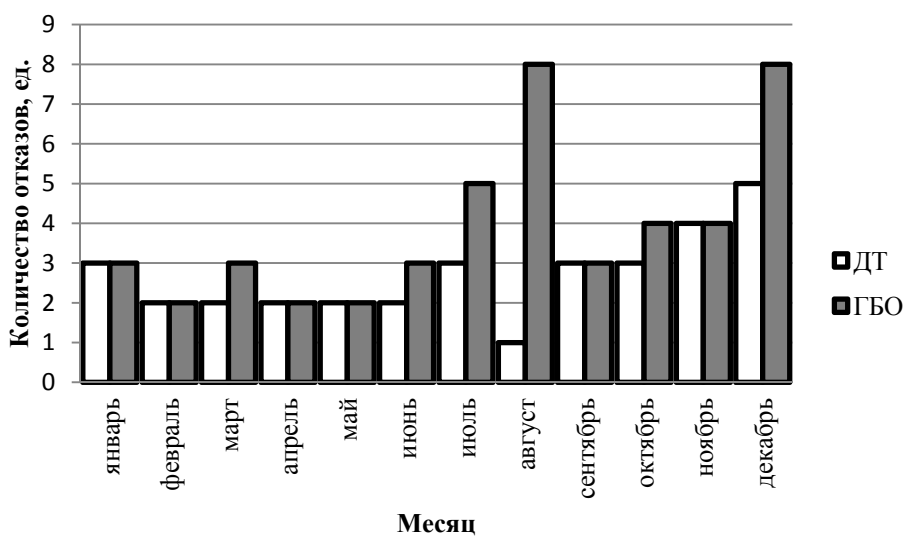


Рис. 3. График сравнения количества отказов шасси дизельных и газодизельных автомобилей

Основные пики отказов шасси у газодизельных автомобилей приходятся на зимний и летний периоды. Связанно это с повышенной нагрузкой на шасси газодизельного автомобиля и сезонными условиями эксплуатации. Весной и осенью, в период межсезонья, дороги не способны выдержать полностью

загруженный автомобиль, зимой и летом используют полную грузоподъемность автомобиля. Следовательно, при эксплуатации газодизельных автомобилей следует учитывать снижение его грузоподъемности. Основными отказами шасси являются износ подшипников и крестовин и лопнувшие листы рессор, что свидетельствует о перегрузе автомобиля.

Таким образом проведенные исследования показали необходимость корректирования планирования проведения технического ремонта и закупок запасных частей для газодизельных автомобилей.

### Список литературы

1. Преимущества автомобильных перевозок [Электронный ресурс]. - 2015. URL: <http://www.railcontinent.ru/preimuwestva-avtomobilnyh-perevozok>.
2. Захаров, Н.С. Проблемы обеспечения работоспособности автомобилей в условиях Западной Сибири [Текст] / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, С.Ю. Кичигин, Е.С. Шевелев // Вестники Иркутского государственного технического университета. – 2008. – Т. 33. – № 1. – С. 76-77.
3. Захаров, Н.С. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте [Текст] / Н.С. Захаров, С.А. Савин, М.М. Иванкив, А.А. Лушников // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
4. Динамика изменения цен на бензин в России [Электронный ресурс]. -2015. URL: <http://autotraveler.ru/russia/dinamika-izmenenija-cen-na-benzin-v-rossii.html#.Veg5P14u64>.
5. Gurgenci H. / Investigating the use of methane as diesel fuel in off-road haul road truck operations / H. Gurgenci, S.M. Aminossadati // Journal of Energy Resources Technology. – 2009. - №131.-p.032202.1 - 032202.9.
6. Костенко В.И., Сидоркин В.И., Екшикеев Т.К., Янчеленко В.А. Эксплуатационные материалы (для автомобильного транспорта): Учебное пособие. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2005. -165 с.

УДК 625.7/.8

## **ВОЗВЕДЕНИЕ НАСЫПЕЙ В СЛОЖНЫХ МЕРЗЛОТНО-ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕБЕННЫХ ЛЬДОВ И ЛЬДОГРУНТОВ ЗАПОЛЯРНОЙ И ПРИПОЛЯРНОЙ ТУНДРЫ**

*В.В. Пассек<sup>1</sup>, М.В. Пасков<sup>2</sup>, В.С. Андреев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Тюмень, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет*

*<sup>2</sup>Москва, ООО «Центральная лаборатория инженерной теплофизики»*

Заполярная и приполярная тундра богата природными ископаемыми, но для их добычи и перевозки необходимо строительство и содержание целой сети железных и автомобильных дорог (федеральных, региональных, притрассовых, местных и др). Но в столь суровых условиях

при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений возникает ряд сложностей.

Вечномерзлые грунты являются хорошим основанием для инженерных сооружений при условии, что в течение периода строительства и эксплуатации они останутся в мерзлом состоянии. При строительстве и на стадии эксплуатации инженерных сооружений происходит нарушение температурного режима, что может привести к протаиванию вечномерзлых грунтов и соответственно выходу из строя объекта. Прочные в мерзлом состоянии погребенные льды и льдогрунты в талом состоянии превращаются в текучую массу и теряют свою несущую способность. Учитывая повышенный снегоперенос, которым характеризуется заполярная и приполярная тундра любое препятствие на пути его движения приведет к образованию повышенных снежных отложений (на дорогах повышенные снежные отложения наблюдаются у подошвы откоса насыпи и в пазухе между дорогами), это приводит к протаиванию грунтов, которое в свою очередь может привести к деформациям дороги. [1]

В связи с вышесказанным становится ясно, что необходимо использовать, модернизировать и разрабатывать конструктивные решения, обеспечивающие стабильность работы объекта при данных мерзлотно-грунтовых и климатических условиях. Желательно не бороться с природой, а использовать ее при проектировании (строительстве) объектов.

Задачи решались методами математического моделирования. Авторами были проведены теплофизические расчеты на ЭВМ учитывая богатый опыт натурных наблюдений.

Можно выделить многообразие зон граничных условий. В данном случае для простоты восприятия были определены 3 основные зоны граничных условий: 1 - охлаждающая, 2 – растепляющая и 3 – ненарушенная (на рисунке 1 представлена схема граничных условий). Для безопасной эксплуатации дороги необходимо увеличить охлаждающую зону, а растепляющую соответственно уменьшить. Сделать это можно увеличив основную площадку и уположив откосы насыпи.



Рис. 1. Схема расположения зон граничных условий

Для примера представлено два варианта дороги с шириной основной площадки 12 и 18 м соответственно. Результаты расчетов представлены на рисунках 2 и 3 в виде изотерм.

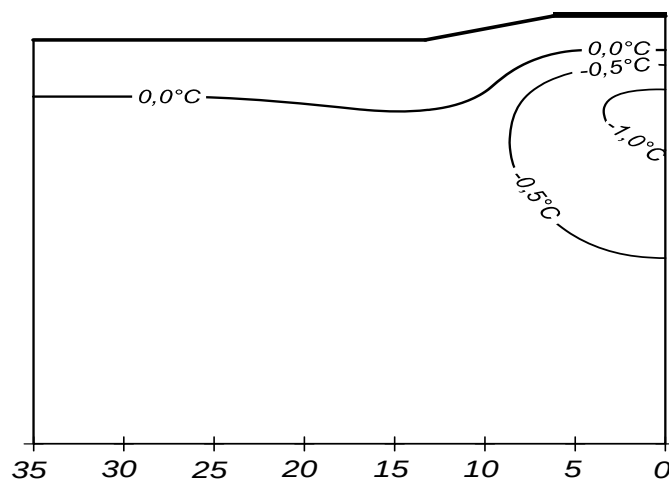


Рис. 2. Температурное поле на конец теплого периода года (октябрь).  
Ширина основной площадки 12.0 м

Из рисунков видно, что конструкция с шириной основной площадки насыпи 12 м не обеспечивает необходимый температурный режим грунтов оснований. Нулевая изотерма проходит непосредственно под дорогой, а в зоне 2 у подошвы откоса насыпи и вовсе уходит вниз на несколько метров (образуя «яму»), что свидетельствует о формировании массива талого грунта, не обладающего требуемой несущей способностью. Более того, это приведет к горизонтальному сползанию откоса насыпи.

На рисунке 3 представлен результат расчета варианта с шириной основной площадки насыпи 18.0 м.

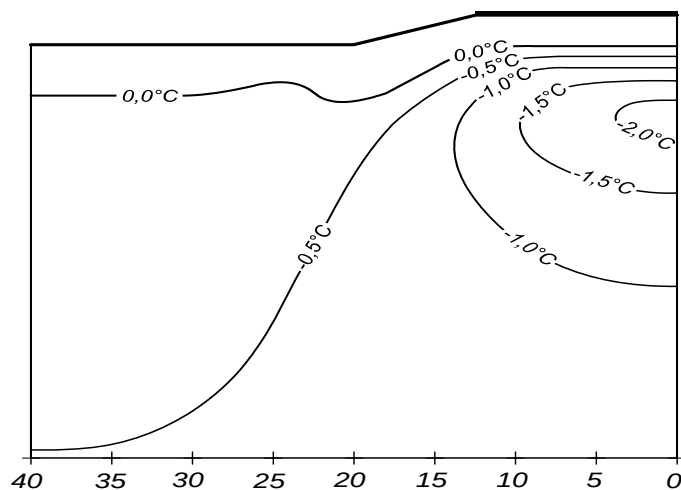


Рис. 3. Температурное поле на конец теплого периода года (октябрь).  
Ширина основной площадки 18.0 м

Как мы можем видеть, под дорогой образуется мощное мерзлое ядро. И чем больше ширина основной площадки, тем мощнее ядро. Изотермы отрицательной температуры под дорогой проходят практически парал-

тельно, что свидетельствует о том, что массив мерзлого грунта под дорогой в данных случаях обладает необходимой несущей способностью и к тому же позволяет нивелировать влияние растепляющего эффекта от зоны 2. Также в зоне 2 формируется «горб», который выступает в роли барьера на пути горизонтального сползания откоса насыпи.

Как видно из рисунков, увеличение ширины основной площадки приведет к стабилизации температурного режима грунтов оснований.

Но есть и негативная сторона, т.к. уширение основной площадки насыпи приведет к увеличению стоимости работ, необходимо привезти грунт с карьеров и уплотнить с помощью техники. Решить эту проблему можно следующим образом. Разделим насыпь на 2 части, где первая часть непосредственно уже имеющаяся дорога, которая воспринимает все нагрузки и по которой устраивается движение техники. И уширяемая часть, за счет которой происходит увеличение основной площадки и увеличение площади поступления холода в тело насыпи (при этом никакой нагрузки она не несет, а уплотнение грунта становится не нужным, т.к. по уширенной части не устраивается движение техники). Заменяв карьерный грунт на местный и отказавшись от его уплотнения (в уширенной части) можно уменьшить стоимость работ без потери эксплуатационных качеств дороги.

Для стабилизации температурного режима грунтов основания можно использовать глубинное охлаждение. К ним можно отнести жидкостные и парожидкостные установки Гапеева (на глубину до 6м), Макарова (на глубину до 10м), заполненные различным хладагентом и погруженные частично в грунт, а частично выступающие наружу над поверхностью грунта. Передача холода в грунт происходит только в зимний период за счет естественной конвекции хладагента: охлажденного в надземной части установки – вниз, а отдавшего холод в грунт и, таким образом, нагретого – вверх. Парожидкостные установки могут устанавливаться на глубину до 20м, но это крайне сложный процесс, т.к. при использовании установки она должна быть полностью герметичная, а достичь это можно только на заводе. Соответственно перевозка и установка таких устройств затруднительна, а порой и вовсе невозможна.

Одним из вариантов может быть термоопора. Принцип работы ее как системы охлаждения тот же, что и в системе С. И. Гапеева или В. И. Макарова, где как хладагент используется аммиак, керосин и др., в термоопоре же хладагентом выступает воздух. Неоспоримым преимуществом термоопор является их долговечность и устойчивость к суровым условиям. В то время как жидкостные (парожидкостные) установки довольно хрупкие (нарушение герметичности приводит к выходу установки из строя). Также термоопора может являться термоскважиной для измерения температуры грунтов. [3]

Для примера рассмотрим использование термоопоры диаметром 0,6м, но длиной опоры 15м с расстоянием между термоопорами 20м. Результаты показаны на рисунке 4 виде температурного поля.

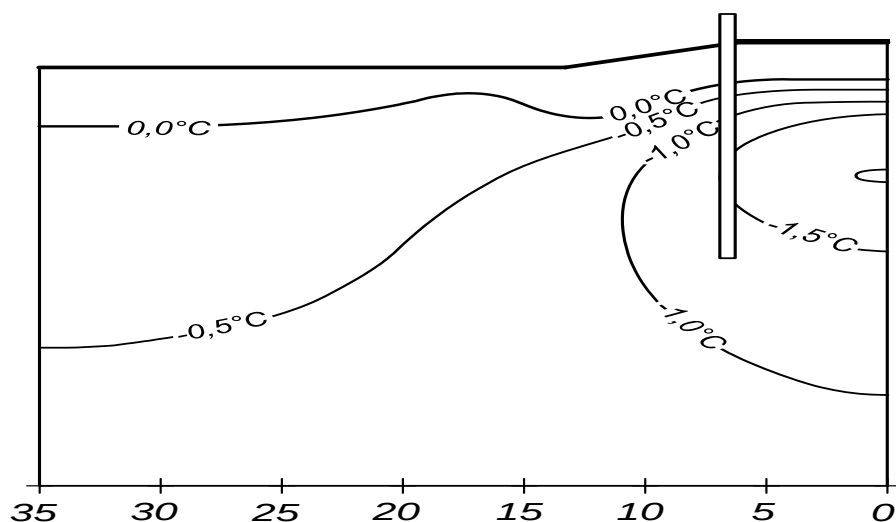


Рис. 4. Температурное поле на конец теплого периода года (октябрь)

Как можно видеть из результатов расчетов под насыпью дороги формируется довольно мощный массив мерзлого грунта (с температурой в центре мерзлого ядра  $-2^{\circ}\text{C}$ ), который способен обеспечивать стабильную и безопасную эксплуатацию дороги.

Интересна еще одна особенность: в зоне рядом с подошвой насыпи поднимается нулевая изотерма (создается упорный горб) за счет потоков холода от термоопоры. Это существенно изменяет характер деформаций насыпи - исключает горизонтальную деформацию насыпи вбок. Вертикальные деформации при этом равномерны по ширине проезжей части, поскольку в этой зоне параллельны изотермы. Следовательно, использование термоопор может быть использовано для стабилизации температурного режима грунтов оснований.

Выводы:

- для стабилизации температурного режима грунтов оснований можно увеличить охлаждающую зону, а растепляющую соответственно уменьшить. Сделать это можно, с помощью увеличения основной площадки и уположения откосов насыпи.

- увеличить основную площадку можно за счет использования местного грунта. Это существенно снизит затраты, но не скажется на качестве. Так как основную нагрузку воспринимает на себя уже имеющаяся насыпь, а уплотнение грунта становится не нужным, т.к. по уширенной части не устраивается движение техники (она устраивается для увеличения площади поступления холода в тело насыпи), необходимо только укрепить местный грунт для недопущения возникновения деформаций.

- для стабилизации температурного режима грунтов основания можно использовать термоопоры (глубинное охлаждение). В термо-

опорах хладогентом является воздух, т.е. система охлаждает сама себя без использования инородных систем. Также термоопора может являться термоскважиной для измерения температуры грунтов. Неоспоримым преимуществом термоопор является их долговечность и устойчивость к суровым условиям.

#### **Список литературы**

1. Цернант А.А., Пассек В.В., Крафт Я.С., Дацковский А.Х., Герасимов В.А., «Особенности конструкций земляного полотна, малых искусственных сооружений и мостов в климатических и мерзлотно-грунтовых условиях Заполярной тундры и Севера Западной Сибири», Научные труды ОАО ЦНИИС. Вып. 242. М., ОАО ЦНИИС, 2007, С. 35-44
2. Пассек В.В., Пасков М.В. «Тепловое взаимовлияние расположенных рядом участков дорог в условиях заполярной тундры» // Строительство железных и автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты: науч. тр. ОАО ЦНИИС / под ред. А.А. Цернанта, В.В. Пассека.– М.: ЦНИИС, 2011.– Вып. 263.– С. 43-47.
3. Пассек В.В., Пасков М.В. «Особенности проектирования участков смежных дорог на вечной мерзлоте» // Путь и путевое хозяйство, М., 2014. – №2.– с. 6-11.

УДК 621.439:629.114.5

### **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА**

*Н.Г. Певнев, М.В. Банкет*

*Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

Интерес в Российской Федерации к альтернативным видам моторного топлива во многом обусловлен пристальным вниманием к экологическим проблемам и ростом цен на нефть.

Являясь нефтедобывающей и газодобывающей страной, РФ располагает достаточной ресурсно-сырьевой базой для использования и расширения производства сжиженных углеводородных газов нефтяного происхождения, таких как сжиженный пропан-бутановый газ (СУГ).

В настоящее время 18 – 20 млн. т сжиженного пропан-бутана в год (что составляет приблизительно 8,5% от общемирового годового потреб-

ления СУГ) используется в мире в качестве топлива для автотранспорта. Россия, по официальным данным, производит около 8 млн. т СУГ в год, из которых около 6 млн. т используется внутри страны [2].

Учитывая возросшие экологические и экономические требования, к автомобильному транспорту современные автомобили оснащаются инжекторной системой питания ДВС. Для обеспечения установленных экологических и экономических требований при работе ДВС ГБА на СУГ применяют впрысковые системы газа 4-ого поколения газобаллонного оборудования (ГБО).

Использование систем 4-ого поколения ГБО на автомобилях позволяет повысить эффективность эксплуатации ГБА за счет уменьшения количества вредных выбросов, снижения износа ДВС и снижения затрат на топливо.

При эксплуатации ГБА оснащенных 4-ым поколением ГБО возникает ряд проблем обеспечения работоспособности ГБА, большинство из которых происходит из-за снижения давления СУГ в газовом баллоне.

Проведя контроль над обеспечением бесперебойной работы системы впрыска газа в условиях эксплуатации ГБА в городе Омске, были установлены причины снижения давления СУГ в газовом баллоне, которые обусловлены следующими факторами:

- 1) низкое качество газового топлива;
- 2) большие перепады отрицательных температур окружающего воздуха (как по времени года, так и в течение суток).

Обеспечение безотказной эксплуатации автомобиля на сжиженном нефтяном газе в условиях отрицательных температур возможно двумя путями: 1) осуществлять подачу жидкой фазы СУГ с помощью насоса (жидкий фазированный распределённый впрыск (5-е поколение ГБО)); 2) поддерживать избыточное давление насыщенных паров, используя подогрев жидкой фазы СУГ.

5-е поколение ГБО предназначено для использования в любых инжекторных автомобилях и совместимо с экологическими требованиями Евро-3, Евро-4, а так же системами бортовой диагностики OBD II, OBD III и EOBD [2].

В отличие от систем 4-ого поколения, в системах 5-ого поколения газ поступает в цилиндры в жидкой фазе. Для этого в баллоне находится газовый насос, который обеспечивает циркуляцию жидкой фазы газа из баллона через рампу газовых форсунок с клапаном обратного давления. Не использованный газ поступает обратно в баллон. Все остальное аналогично системам четвертого поколения. К преимуществу систем 5-ого поколения можно отнести возможность запуска двигателя на газе при любых отрицательных температурах, так как исчезла необходимость испарять газ перед подачей в двигатель. К недостат-



кам системы можно отнести её высокую чувствительность к «грязному газу», низкую ремонтпригодность и высокую сложность. Все эти недостатки практически перечёркивают её преимущества в условиях эксплуатации в России,- степень очистки пропан-бутановой смеси у нас очень низкая.

Из выше сказанного следует, что наиболее приемлемым для обеспечения безотказной эксплуатации автомобиля на сжиженном нефтяном газе в условиях отрицательных температур является испарение жидкой фракции газа.

Для разработки универсального комплекса технических решений для поддержания заданного давления СУГ в газовом баллоне выявлены закономерности формирования агрегатного состояния СУГ в газовом баллоне и изменения количества тепла для поддержания заданного давления СУГ в газовом баллоне [3]. Разработана **методика определения параметров** комплекса технических решений по поддержанию заданного давления СУГ в газовом баллоне [4].

Комплекс технических решений по поддержанию **заданного** давления СУГ в газовом баллоне представлен на рис. 1.



Рис. 1. Комплекс технических решений по поддержанию заданного давления СУГ в газовом баллоне

На рис. 2 представлен эскиз конструкции устройства для поддержания давления СУГ в автомобильном газовом баллоне

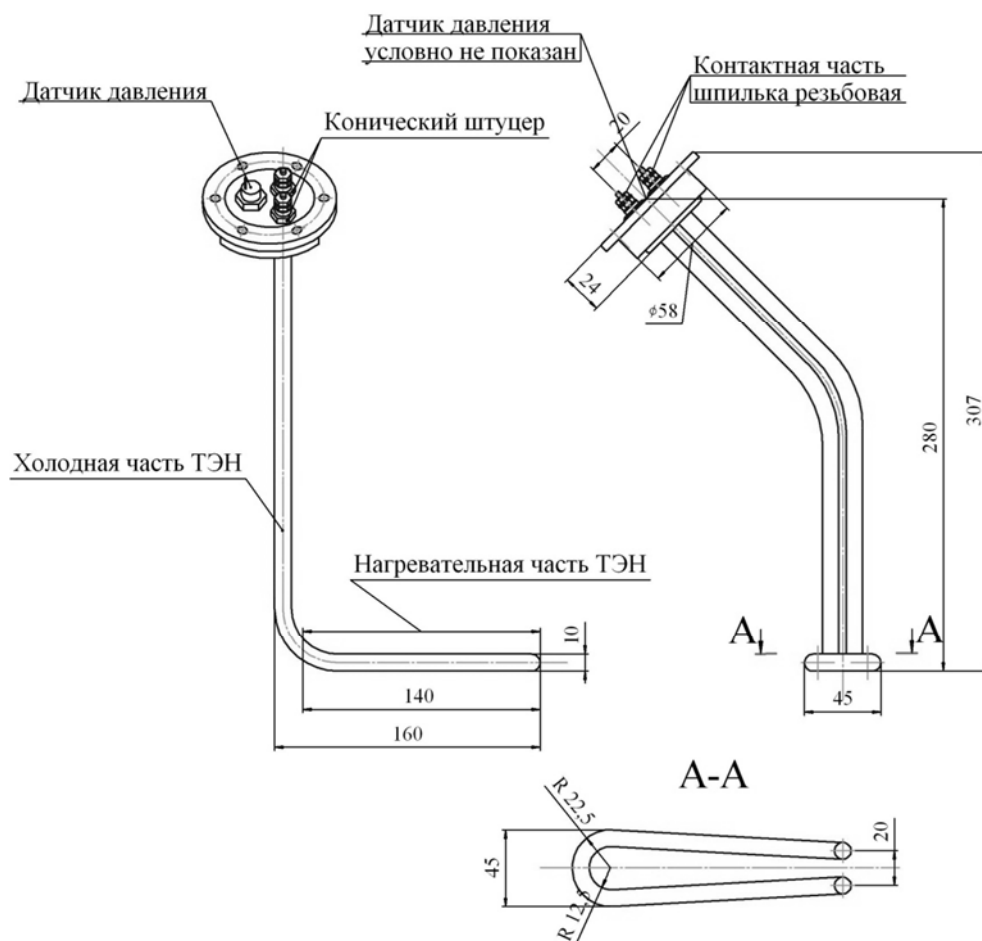


Рис. 2. Устройство для поддержания давления СУГ в баллоне

На рис. 3 показан автомобильный газовый баллон с дополнительным фланцем и место расположения ТЭН.

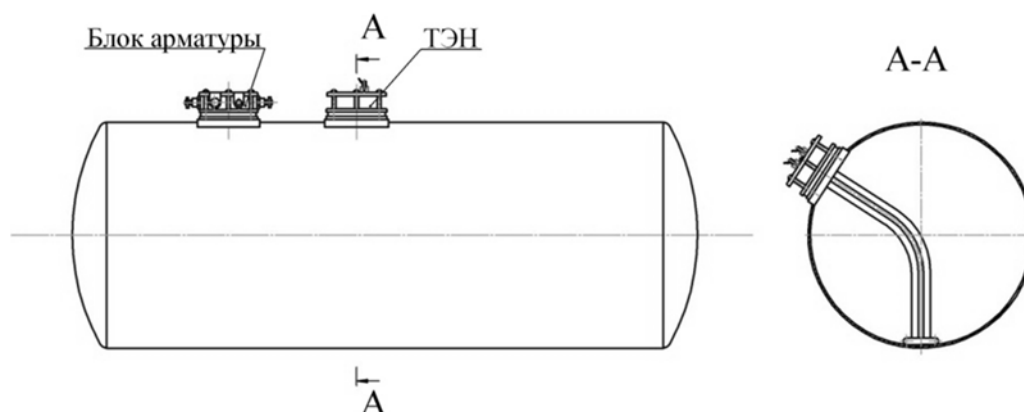
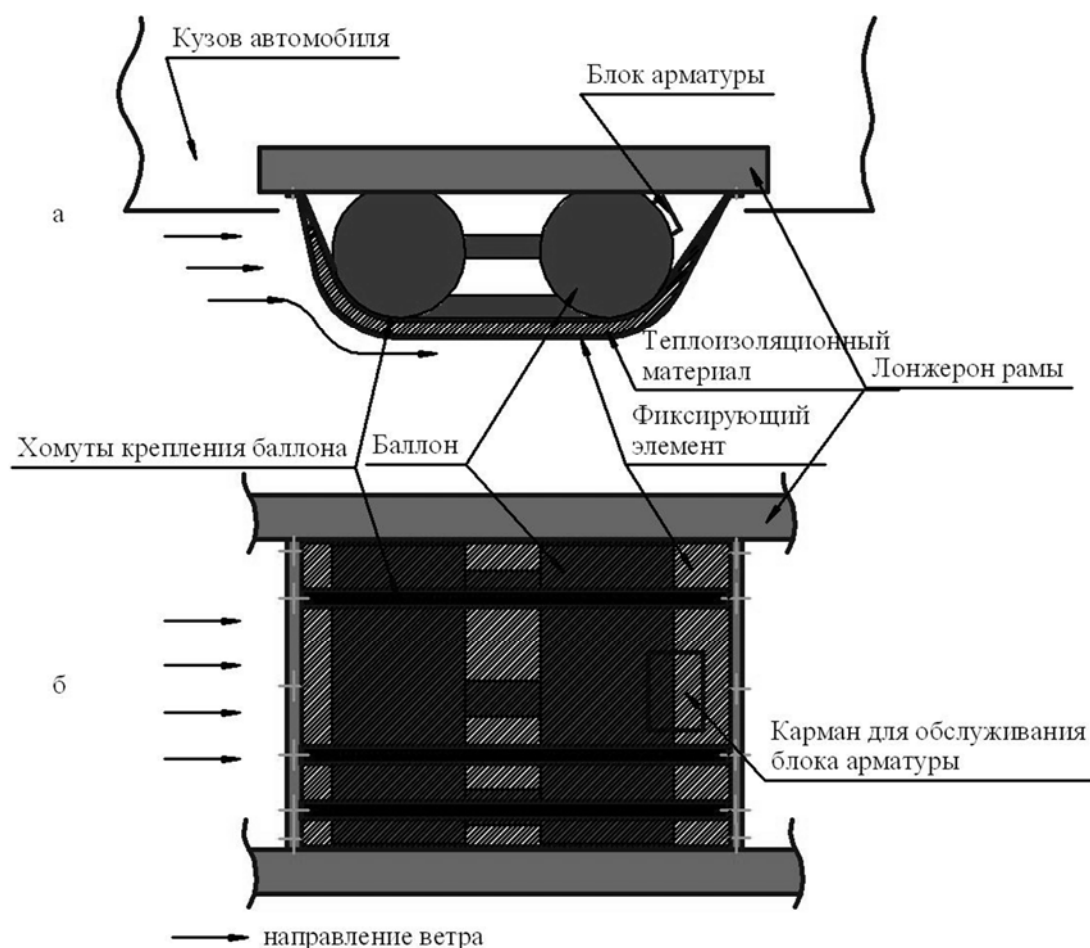


Рис.3. Автомобильный газовый баллон с дополнительным фланцем и место расположения ТЭН

Схема теплоизоляции автомобильного газового баллона (спарка) с дополнительным фланцем представлена на рис. 4.



*а - вид сбоку ГБА; б – вид снизу ГБА*

Рис. 4 Теплоизоляция автомобильного газового баллона (спарка) с дополнительным фланцем

Для оценки работоспособности предложенного комплекса технических решений по поддержанию заданного давления СУГ в газовом баллоне и проверки теоретических исследований поддержания заданного давления СУГ в газовом баллоне были проведены эксперименты.

Получаемые в ходе экспериментов результаты позволили установить, что при применении комплекса технических решений по поддержанию заданного давления СУГ в газовом баллоне работоспособность ГБА в условиях эксперимента увеличилась на 18,3%. Затраты на топливо для одного автомобиля снизились на 12100 руб. в год [3].

Выводы:

1. Установлены причины снижения работоспособности ГБА в условиях отрицательных температур окружающего воздуха.
2. Дана характеристика и оценка методам обеспечения работоспособности ГБА в рассматриваемых условиях.
3. Предложен разработанный комплекс технических решений для обеспечения работоспособности ГБА в условиях отрицательных температур окружающего воздуха.

4. Выявлены оценочные показатели разработанного комплекса технических решений.

#### Список литературы

1. Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Исследования приспособленности автомобилей, работающих на природном газе и бензине, к фактическим температурам воздуха // Газовая промышленность. – 2014. – №2 (702). – С. 82-85.
2. Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов / В.И. Ерохов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 598 с.
3. Певнев Н.Г. К выбору испарителя жидкой фазы сжиженного нефтяного газа в автомобильном баллоне при отрицательных температурах окружающего воздуха / Н.Г. Певнев, М.В. Банкет // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ. – 2009. – №1 (11). – С. 5-9.
4. Певнев Н.Г. Оптимизация теплосодержания СУГ в автомобильном газовом баллоне для обеспечения бесперебойной работы ГБА / Н.Г. Певнев, В.И. Гурдин, М.В. Банкет // Транспорт на альтернативном топливе: Международный научно-технический журнал. – 2010. – №4 (16). – С. 10-13.
5. Певнев Н.Г. Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей в зимнее время года / Н.Г. Певнев, В.И. Гурдин, М.В. Банкет // Транспорт на альтернативном топливе: Международный научно-технический журнал. – 2012. – №1 (25). – С. 74-77.

УДК 656.1

### РАЗВИТИЕ СЕТИ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ КОМПРИМИРОВАННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ ОМСКЕ

*Н.Г. Певнев, М.В. Банкет, А.С. Бакунов*

*Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

Природный газ на автомобильном транспорте из разряда альтернативных переходит в **основное моторное топливо**, что отмечено Госдумой РФ [1].

Комплексный план расширения использования газа в качестве моторного топлива будет осуществляться согласно Постановления Правительства РФ от 10.09.2009 N 720 (ред. от 22.12.2012) «Об утверждении технического регламента о безопасности колесных транспортных средств»; Распоряжения Правительства РФ от 13.05.2013 N 767-р; Правил ЕЭК ООН N 110.

Согласно распоряжению №767-Р от 13 мая 2013 г., подписанному Д.А. Медведевым, предусматривается комплекс мер по использованию газомоторного топлива (ГМТ), в частности, города-миллионники должны к 2020

году иметь 50% общественного автотранспорта и транспорта дорожно-коммунальных служб, работающих на ГМТ. Преимущество отдается природному газу [2].

Основным сдерживающим фактором использования компримированного природного газа (КПГ) в качестве газомоторного топлива в Российской Федерации является неразвитость сети автогазонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и удаленность существующих АГНКС от потенциальных потребителей - автотранспортных предприятий, гаражных кооперативов и т.п [3].

На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается 218 автогазонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) [4].

По данным Минэнерго России (департамента переработки нефти и газа) существует два сценария развития существующей сети АГНКС России до 2030 года:

*Первый сценарий (Сохранение текущих темпов роста)*  
к 2020 году количество заправок увеличится вдвое (около 400 шт.)  
к 2030 году количество заправок увеличится в пять раз (около 1000 шт.)

*Второй сценарий (Комплексное развитие)*  
к 2020 году количество заправок увеличится 8,5 раз (около 1700 шт.)  
к 2030 году количество заправок увеличится в 17,5 раз (около 3500 шт.) [5].

Расширения сети АГНКС может и должно осуществляться за счет строительства крупных АГНКС (АГНКС быстрой заправки), АГНКС гаражного, домашнего типа (АГНКС медленной заправки) и применения передвижных автогазозаправщиков ПАГЗ (материнская заправка и дочерняя заправка).

Вопрос выбора места под строительство АГНКС очень серьезный и требует детальной проработки. При этом, на наш взгляд, должны рассматриваться следующие факторы:

1. Стоимость земли под строительство АГНКС.
2. Собственность земли под строительство АГНКС.
3. Места скопления транспортных средств.
4. Места расположения предприятий автомобильного транспорта.
5. Места расположения автомобильных автомагистралей.

В Омске и Омской области нет ни одной действующей заправки природным газом, хотя на сжиженном нефтяном газе в названном регионе работает порядка 40 тыс. автомобилей с хорошо развитой инфраструктурой заправки и обслуживания ГБА.

В октябре 2013 года в региональном Минстрое состоялось совещание по строительству АГНКС на территории Омской области. Председатель Совета директоров ОАО «Газпром» Виктор Зубков и Губернатор Омской области Виктор Назаров подписали Соглашение о использовании природного газа в качестве моторного топлива на территории Омской области. В

этом соглашении указано, что регионы должны к моменту пуска заправок обеспечить загрузку каждой АГНКС не менее 30 % ее номинальной мощности, путем получения техники по субсидиям либо переоборудованием собственными силами.

В начальный период использования КПП заправку автомобилей необходимо осуществлять передвижными автозаправочными комплексами, приобретение которых является первоочередным. Также Омская область обеспечит производственно-техническую базу и подготовку инженерно-технического персонала и водителей автотранспортных предприятий, для работы на газомоторном топливе.

Крупные пункты отстоя автобусов средней и большой вместимости и маршрутных такси с учетом всех маршрутов движения транспорта города Омска, показаны на рис. 1.



Рис. 1. Возможное расположение АГНКС применительно к инфраструктуре газификации города Омска и транспортным магистралям

Транспорт, работающий на КПП, необходимо планировать на маршруты, пункты отстоя которых расположены вблизи АГНКС.

Количество автомобилей сконцентрированных на конечных остановочных пунктах дает основание для определения потребности природного газа, необходимого для заправки упомянутых автомобилей. Информация о потребляемом объеме газа нужна для выбора метода заправки, то есть либо рекомендовать строительство стационарной АГНКС, либо можно обойтись передвижными автозаправочными станциями. Строительство АГНКС рационально будет размещать рядом с ГРС, которая находится вблизи пунктов отстоя максимальной концентрации автобусов средней и большой вместимости и маршрутных такси.

Маломестные автобусы (маршрутные такси) с бензиновыми ДВС, при длине маршрута движения в среднем около 25 километров, через каждые 6 кругов потребуют заправку природным газом, топливного бака хватит им на 300 километров. На каждом городском маршруте города Омска работает около 40 маршрутных такси, поэтому количество заправок на каждом пункте отстоя составит от 40 до 60 за сутки. Необходимый объем газа для каждого пункта отстоя будет составлять примерно 3600 м<sup>3</sup> в сутки. Данным требованиям вполне удовлетворяет передвижная заправочная станция.

Одним из перспективных решений о размещении АГНКС является строительство АГНКС вблизи газовых раздаточных станций городского газопровода и конечного пункта отстоя пассажирского транспорта [6]. Проведя исследования типов АГНКС установлено, что масштабное их строительство вовсе необязательно, поскольку существуют модули компрессорные заправочные (МКЗ).

МКЗ предназначены для заправки сжатым природным газом по ГОСТ 27577-2000 транспортных средств давлением до 20 МПа, использующих его в качестве моторного топлива, а также ПАГЗ давлением до 25 МПа. Могут быть установлены на территории газоперекачивающих компрессорных станций, подземных хранилищах газа и на других объектах системы ОАО "ГАЗПРОМ", в которых располагаемый потенциал избыточного давления природного газа находится в пределах от 0,2 до 7,5 МПа и могут быть использованы в качестве общественных заправок [7].

Для большинства городов данные модули можно устанавливать на объектах газотранспортных систем (например, газораспределительных станций) с использованием избыточного давления природного газа в пределах 3,0-7,5 МПа.

МКЗ включает в себя двухступенчатую компрессорную установку, систему очистки и осушки природного газа, газопровода, арматуру, систему сигнализации, датчики, заправочный пост. Модуль не требует специального фундамента. Техническое обслуживание и ремонт может осуществляться ремонтной бригадой газокompрессорной службы и службой контрольно

измерительных приборов и автоматики (Кип и А). Управление работой МКЗ может осуществлять один человек [8].

В качестве примера рассмотрим техническую характеристику МКЗСА-100/30-250-2 У1.

Таблица 1

Техническая характеристика МКЗСА-100/30-250-2 У1.

| Параметр                                          | Значение  |
|---------------------------------------------------|-----------|
| Давление на вход (изб.), кгс/см <sup>2</sup>      | 30...75   |
| Произв. при станд. условиях, нм <sup>3</sup> /час | 180...450 |
| Количество заправочных постов                     | 2         |
| Давление заправки (изб.), кгс/см <sup>2</sup>     | 200, 250  |
| Мощность приводного электродвигателя, кВт         | 37        |

Применение данных модулей, безусловно, позволит расширить сеть АГНКС в городах. Так применение МКЗ, например, в городе Омске при минимальном давлении на входе 3,0 МПа получим 3 м<sup>3</sup> в минуту. Учитывая, что у городских автобусов объем газовых баллонов составляет около 400 литров (заправка КПП составит  $\approx 100\text{м}^3$ ) время его заправки составит 33,3 минуты. Максимальная производительность рассматриваемой МКЗСА-100/30-250-2 У1 с учетом двух постов составит 84 автобуса. В городе Омске имеются 4 ГРС, если на каждую из них установить рассматриваемый модуль то теоретически в день можно будет заправить до 336 автобусов!!!

Таким образом, можно при минимальных трудовых, финансовых и временных затратах выполнить задачи поставленные Правительством Российской Федерации.

Приведенный в статье материал предлагается как начало решения многофакторного вопроса развития инфраструктуры использования КПП на пассажирском автомобильном транспорте.

Выводы:

1. Учитывая инфраструктуру газификации города Омска и транспортные магистрали предложенные места расположения АГНКС являются рациональными.

2. На этапе развития инфраструктуры наиболее экономически выгодным является применение компрессорных заправочных модулей.

### Список литературы

1. Регионы РФ получают субсидии на покупку техники, работающей на газомоторном топливе // АвтоГазоЗаправочный Комплекс +Альтернативное топливо: Международный научно-технический журнал. – 2013. – №8 (77) . – С. 32-34.
2. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 13 мая 2013 г. №767-р. - 2с.
3. Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов / В.И. Ерохов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 598 с.



4. Автомобильные газонаполнительные компрессорные станции. Карта АГНКС России. [Электронный ресурс]. Дата обновления: 20.01.2014. – URL: [http://agnks.ru/agnks\\_map/](http://agnks.ru/agnks_map/) (дата обращения: 26.02.2014).
5. Певнев Н.Г. Методы заправки природным газом автомобилей в период становления их эксплуатации / Н.Г. Певнев, А.С. Бакунов // Материалы Международного конгресса Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации. – Омск: СибАДИ, 2013. Кн. 3. – С. 59-64.
6. Компрессорное оборудование для заправки транспорта газом [Электронный ресурс]. URL: [http://www.pkm.ru/catalog/moduli\\_kompressornie\\_zapravochnie](http://www.pkm.ru/catalog/moduli_kompressornie_zapravochnie) (дата обращения: 22.07.2014).
7. Коклин И.М. Модули компрессорные заправочные на магистральных газопроводах - путь к снижению затрат / И.М. Коклин, Потапенко, С.И. Потапенко, В.М. Штепа, А.А. Пономарева // АвтоГазоЗаправочный Комплекс +Альтернативное топливо: Международный научно-технический журнал. – 2011. – №1 (55). – С. 3-6.

УДК 656.13

## **ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАНИЯ ТОПЛИВА В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВС, ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ**

*Н.Г. Певнев, В.В. Понамарчук*

*Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

Комбинированию топлив уделялось достаточно внимания при оптимизации использования газовых топлив в универсальных двигателях (двигателях рассчитанных для работ на бензине, но их переводили на газ пропан-бутановую смесь, либо метан).

По такому принципу в России, да и за рубежом, работает достаточно много двигателей автотранспортных средств. Различают карбюраторные ДВС, работающие на монотопливе (либо на бензине, либо на газовом топливе), универсальные (либо бензин, либо газ), комбинированные (бензин + газ).

Дизельные двигатели, как правило, при использовании в них газовых топлив, работают по комбинированному варианту, получивших название газодизельных (основное топливо газ, дизельное – в качестве запальной дозы). Однако, обстоятельства, в основном экологические, заставляют эксплуатационников перейти к чисто газовым (вместо газодизельных) и к комбинированным вариантам, когда в двигателе используются одновременно два вида топлива: основное газ, а в нужных моментах добавляют бензин в основном для запуска и прогрева, также

бензин добавляют к газовому топливу для снятия с двигателя большей мощности (на больших оборотах).

Вопросу комбинирования топлив в теории и практике уделялось достаточно большое внимание. Так, в научной школе СибАДИ, выполнялись диссертационные исследования по отработке оптимальных вариантов комбинированных топлив (газа+бензина) для карбюраторных ДВС с целью повышения надёжности таких систем питания и улучшения экологических показателей автомобилей в целом.

Для двигателей, оборудованных системой впрыска бензина, при переводе их на газовое топливо, была предложена схема комбинирования этих топлив в зависимости от режима работы ДВС. Эта схема нашла широкое практическое подтверждение, и сегодня она широко используется при переводе на пропан-бутановое топливо бензиновых ДВС с системой впрыска бензина.

Но повышение экологических требований к вновь выпускаемым автомобилям заставляет исследователей искать вариант применения в ДВС распространённых топлив с целью повышения их экологичности.

Автомобили, не соответствующие требованиям стандартов, не допускают к производству / ввозу.

В настоящее время наиболее доступным вариантом повышения экологических показателей является установка на автомобили различных нейтрализаторов выхлопных газов. Это необходимо для получения на выхлопе требуемых показателей по нормативам, установленным стандартам Евро. Но нейтрализаторы работают в диапазоне определённых температур от 280-300<sup>0</sup>С, что в условиях Сибири весьма проблематично, особенно на режимах пуска и прогрева при условиях использования автомобилей в городах (прогрев-короткая поездка-стоянка-прогрев-поездка и т.д.). В условиях холодного климата Сибири это очень сложный процесс поддержания нейтрализатора в требуемом тепловом режиме.

Отсюда вытекает задача, организовать сжигание топлива в ДВС таким образом, чтобы выхлопные газы не содержали ядовитых компонентов. И здесь на повестку дня необходимо выносить известные всем автомобилистам постулаты – сжигать в камере сгорания топливо так, чтобы освободиться от вредных компонентов при сгорании углеводородных топлив в закрытых объёмах (камере сгорания ДВС). Учитывая, что этот процесс проходит за очень малый промежуток времени, решить эту задачу оказалось на практике очень и очень сложно.

Здесь необходимо отметить, что на заре развития двигателестроения, акад. Я.Б. Зельдович, развивая теорию сгорания топлив в ограниченных объёмах и за очень короткий промежуток времени указывал, что достичь полного сгорания топлив в этих условиях можно с использованием добавки водорода (H<sub>2</sub>). Даже 5-10% добавки водорода в рабочую смесь перед её

зажиганием позволит осуществить более полное сгорание рабочей смеси за очень короткий промежуток времени, учитывая огромную проникающую способность водорода и активизацию сгорания всей смеси. Чтобы более полно осмыслить это явление необходимо кратко рассмотреть физико-химические свойства этого уникального компонента – водорода – как альтернативного топлива.

Водород — самый лёгкий газ, он легче воздуха в 14,5 раз. Очевидно, что чем меньше масса молекул, тем выше их скорость при одной и той же температуре. Таким образом, молекулы водорода движутся быстрее молекул любого другого газа и тем самым быстрее могут передавать теплоту от одного тела к другому. Отсюда следует, что водород обладает самой высокой теплопроводностью среди газообразных веществ. Его теплопроводность примерно в семь раз выше теплопроводности воздуха.

Молекула водорода двухатомна —  $H_2$ . При нормальных условиях — это газ без цвета, запаха и вкуса. Плотность при нормальных условиях 0,08987 г/л, температура кипения  $-252,76\text{ }^{\circ}\text{C}$ , удельная теплота сгорания  $120,9 \cdot 10^6$  Дж/кг, малорастворим в воде — 18,8 мл/л.

Жидкий водород существует в очень узком интервале температур от  $-252,76$  до  $-259,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это бесцветная жидкость, очень лёгкая (плотность при  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  0,0708 г/см<sup>3</sup>) и текучая (вязкость при  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  13,8 сП). Критические параметры водорода очень низкие: температура  $-240,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давление 12,8 атм.

Твёрдый водород, температура плавления  $-259,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , плотность 0,0807 г/см<sup>3</sup> (при  $-262\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) — снежоподобная масса.

Этим объясняются трудности при ожижении водорода.

Добавка водорода к основному моторному топливу способна не только заменить энергоресурс уменьшаемой доли бензина или дизельного топлива. Его действие более интересно – водород обладает высокой скоростью диффузии, из чего вытекает его способность образовывать однородную смесь в камере сгорания за очень короткий промежуток времени [1].

При горении водорода толщина зоны гашения (пристеночный слой, в котором не идут окислительные процессы) меньше примерно в 5 раз, чем у углеводородных топлив. Это доказывает высокую эффективность воздействия водорода на кинетику сгорания смеси во всем объёме [1]. Соответственно возрастает полнота сгорания топлива, и уменьшается эмиссия токсических веществ, что приводит к существенному снижению вредных выбросов остаточных углеводородов и сажи, а также оксидов углерода и азота. Это подтверждено испытаниями, проведёнными Российским федеральным ядерным центром (РФЯЦ ВНИИЭФ) совместно с Институтом катализа им. Г.К. Борескова и ОАО «АвтоВАЗ» на моторном стенде Тольяттинского государственного университета (ТГУ) в 2004 году [2]. Испытания проводились на двигателе ВАЗ-21102 с до-

бавками чистого водорода в бензино-воздушную смесь. Именно при этих испытаниях была показана возможность снижения выбросов NOX и CO без дожигания выхлопных газов (отсутствие каталитического нейтрализатора), повышение КПД двигателя и уменьшение расхода топлива [2].

Кроме этого стоит отметить, что скорость горения водородно-воздушных смесей на порядок выше, чем скорость горения аналогичных бензо-воздушных смесей [1]. При минимальных добавках водорода в топливо-воздушный заряд время сгорания последнего существенно уменьшается, поскольку водород, смешавшись предварительно с порцией попадающего в цилиндр воздуха и сгорая сам, эффективно поджигает смесь во всем объеме, это происходит благодаря тому что водород обладает высокой диффузией и может выступать в качестве иницирующих центров горения при сгорании углеводородного топлива, об этом можно найти упоминание в работах таких академиков как Н.Н. Семенов и Я.Б. Зельдович [3]. Применительно к работе двигателя это означает, что при добавке водорода, можно снизить дозу основного топлива в заряде и сделать зажигание более поздним. Это приводит к повышению эффективности работы двигателя.

Несмотря на вышеуказанные достоинства, применение водорода в автомобильном транспорте затруднено из-за проблемы его хранения на борту автомобиля. На сегодняшний день в России большая часть водорода произведенного промышленно, транспортируется и хранится в баллонах соответствующих ГОСТ 949-73. Проанализировав который, можно прийти к выводу, что применение баллонов данного типа в качестве хранилища моторного топлива на автомобиле нерационально, ввиду массогабаритных характеристик баллонов.

В настоящее время существует аналогичный сортамент баллонов для водорода изготовленных из композитных материалов, которые имеют более легкий вес при том же количестве перевозимого водорода. Но при этом они имеют стоимость в 1,5...2 раза выше, чем баллоны, изготовленные из металлов.

За рубежом наиболее часто для хранения водорода в автомобиле используют гидриды металлов. Главным недостатком таких систем является их большой вес и стоимость материалов. Кроме того, медленное выделение водорода из гидрида также представляет проблему потребления необходимого количества водорода на различных режимах работы двигателя.

Одной большой общей проблемой, для всех вышеперечисленных методов хранения водорода на борту автомобиля, является отсутствие водородных заправочных станций. А ведь создание водородной инфраструктуры требует огромного количества затрат, и является сложнейшей задачей не только экономически но и технически. А в масштабах России, где для

обеспечения всей территории государства требуется огромное количество водородных АЗС, данная задача неосуществима не только в настоящее время, но и в ближайшем будущем.

В научной литературе имеются сведения о разработках, позволяющих получать водородосодержащий газ на борту автомобиля и сразу его использовать в камере сгорания двигателя, не прибегая к его хранению. Одной из таких разработок является совместная работа О.Ф. Бризицкого, В.Я. Терентьева, В.А. Кириллова, А.И. Савицкого, В.А. Бурцева. Для получения водорода на борту автомобиля был выбран способ без применения дистиллированной воды и электричества. Такой способ известен в большой химии – парциальное окисление топлива или воздушная конверсия топлива. В специальном реакторе в присутствии катализатора происходит реакция:  $\text{CH}_4 + \text{S} (\text{O}_2 + 3,76 \text{ N}_2) = 2\text{H}_2 + \text{CO} + 1,88 \text{ N}_2$  с образованием синтез-газа, в составе которого находится  $\approx 50\%$  смеси водорода и монооксида углерода, которые и являются иницилирующей добавкой, улучшающей сгорание углеводородного топлива, устройство в котором протекает вышеуказанная реакция – генератор синтез-газа. Автомобиль «Соболь» с установленным генератором синтез-газа участвовал в автопробеге «Голубой коридор» наравне с серийными и опытными образцами автомобилей и автобусов, работающих на природном газе. Однозначно можно сделать вывод об экологических преимуществах автомобиля «Соболь» с генератором синтез-газа, продемонстрированных во время пробега, по сравнению с автомобилями, работающими на природном газе. В частности выбросы  $\text{NO}_x$  были на два порядка ниже и составляли единицы ppm, при этом на автомобиле отсутствовал нейтрализатор выхлопных газов [3].

Таким образом можно сделать вывод, что комбинирование таких топлив как водород и бензин рационально применять в ДВС, но для этого в первую очередь необходимо освоить технологию добычи водорода на борту автомобиля в количествах, необходимых для устойчивой работы ДВС.

### Список литературы

1. Фомин В.М. и др. Водород как химический реагент для совершенствования показателей работы автомобильного двигателя с НВБ. - Транспорт на альтернативном топливе, 2011. - № 4(22). – С. 30–37.
2. Бризицкий О.Ф. и др. Использование генератора синтез-газа в ДВС автомобиля. - Транспорт на альтернативном топливе, 2008. - № 6(6). – С. 25-28.
3. Перетрухин С.Ф. и др. Бортовой генератор синтез-газа для ДВС с искровым зажиганием. - Транспорт на альтернативном топливе, 2010. - № 5(17). – С. 68-74.
4. Певнев Н.Г. Понамарчук В.В. Анализ свойств водорода с целью возможности его применения в качестве добавки к основному топливу// Прогрессивные технологии в транспортных системах: Сб. научн. Тр. XII международной науч. - практич. конф. – Оренбург 2015. – С. 304 – 309.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*Н.Г. Певнев, Э.Р. Раенбагина*

*Омск, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия*

В нефтегазовом комплексе широко используются автомобили, работающие на газовом топливе. При эксплуатации автомобилей нужно соблюдать требования по поддержанию надежности и безотказности подвижного состава нефтегазового комплекса с учетом ужесточения экологических требований, а также учитывать приспособленность газобаллонных автомобилей (ГБА) к фактическим температурам воздуха [1].

На сегодняшний день требования к выбросам вредных веществ в атмосферу регламентированы правилами ЕЭК ООН №67.

Проанализировав существующий перечень нормативно-правовых документов, регламентирующих эксплуатацию и организацию работ по техническому обслуживанию газобаллонных автомобилей, выявляется ряд упущений.

Монтаж газобаллонного оборудования (ГБО) на автотранспортное средство производится согласно ТУ 152-12-008-99. На автомобиль устанавливаются узлы ГБО различных предприятий-изготовителей, имеющих сертификаты соответствия. Инструкция по эксплуатации должна быть предоставлена потребителю организацией, в которой переоборудовался автомобиль. Однако, инструкцию по эксплуатации ГБА владельцу транспортного средства не предоставляют, также не предоставляют расчеты крепления газового баллона на автомобиль.

Далее владелец ГБА сталкивается с техническим обслуживанием и ремонтом, а также переосвидетельствованием баллона, которое согласно РД 03112 194-1094-03 проводится каждые два года для баллонов отечественного производства. Для баллонов иностранного производства переосвидетельствование проводится в разные сроки, регламентированные паспортом баллона. Из-за того, что комплект газобаллонного оборудования, не оснащен элементами слива газа, нарушаются требования РД 03112 194-1094-03, в которых оговорены случаи, при которых необходимо сливать газ:

- при нарушении герметичности запорно-предохранительной арматуры (ЗПА), резьбовых соединений на баллоне и в местах присоединения газопроводов;
- при проведении текущего ремонта, связанного с заменой баллонов, соединительных газопроводов, сварочных и окрасочных работ;

- при испытании газовой системы питания на герметичность сжатым воздухом или негорючим газом ( $N_2$ ,  $CO_2$ ) под давлением 1,6 МПа (опрессовка);

- при снятии баллонов ГСН для проведения их освидетельствования или замены.

При этом слив газа необходимо производить только на специально оборудованных постах слива, что оговорено в РД 03112 194-1094-03.

Для выполнения нормативных требований по сливу газа авторами произведена модернизация системы питания двигателя газобаллонного автомобиля (рис. 1) и получен патент [2]. Предлагаемый вариант системы питания, позволяющий слить газ из автомобильного газового баллона опубликован в журнале [3].

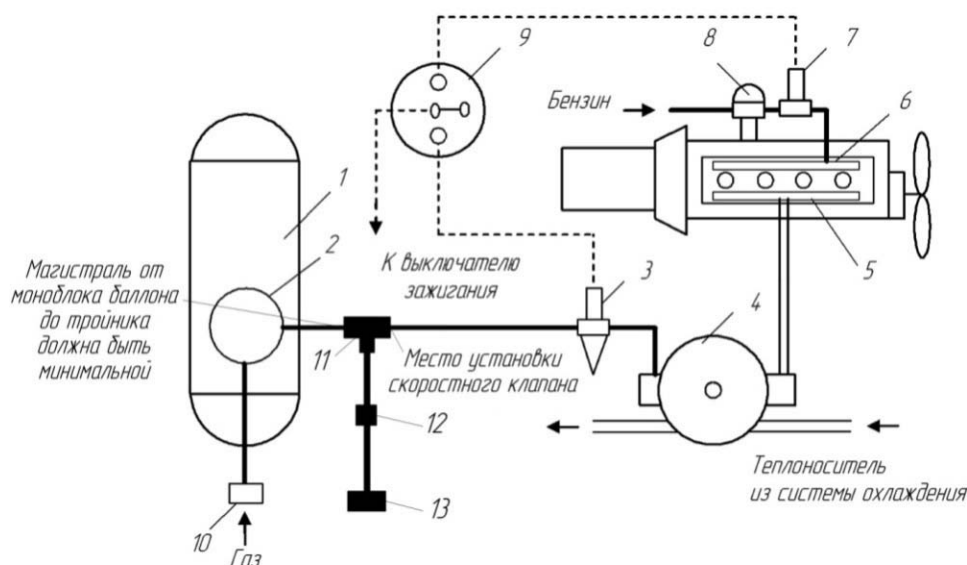


Рис. 1. Принципиальная схема модернизированной системы питания двигателя газом в случае использования баллона с мультиклапаном:

1 – газовый баллон; 2 – мультиклапан; 3 – магистральный газовый клапан; 4 – газовый редуктор; 5 – рампа газовая; 6 – рампа бензиновая; 7 – бензиновый клапан; 8 – бензонасос; 9 – тумблер переключения вида питания; 10 – ВЗУ;

11 – тройник со скоростным клапаном; 12 – вентиль слива газа;

13 – ВЗУ без обратного клапана для слива газа.

Кроме того, авторами предложена комбинированная принципиальная схема поста слива газа из автомобильных баллонов на АГЗС [4], а так же запатентована схема поста слива на АТП (рис. 2) [5].

Несмотря на разработанные и запатентованные технологические решения, обеспечивающие безопасный слив газа, на сегодняшний день посты слива газа и элементы слива газа в системе питания на работающих ГБА отсутствуют. В результате этого владельцы газобаллонных автомобилей при возникновении неисправностей ЗПА баллона вынуждены стравли-

вать сжиженный углеводородный газ (СУГ) в окружающую среду, отъехав за пределы жилой зоны. Такие грубые нарушения в технологическом процессе эксплуатации ГБА отрицательно влияют на экологическую обстановку в жилой зоне города, наносят вред здоровью людей, а также могут быть причиной взрыва и повлечь материальные убытки и человеческие жертвы [6].

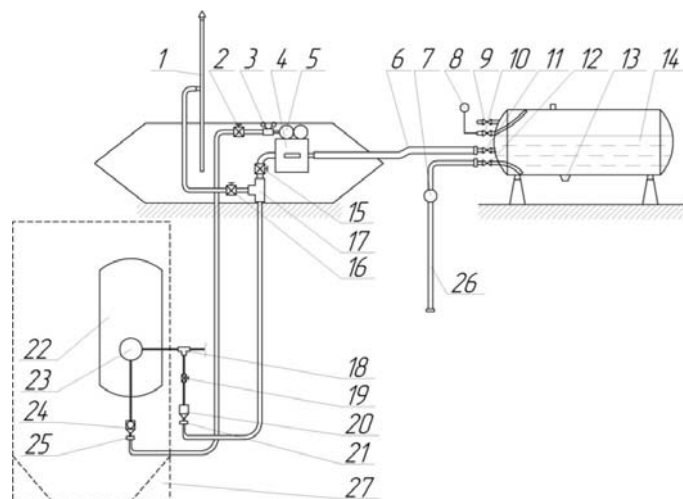


Рис. 2. Комбинированная принципиальная схема поста слива газа из автомобильного баллона (в том числе и оборудованного моноблоком) расположенного на АТП:

1 – свеча продувочная; 2 – вентиль подачи природного газа; 3 – редуктор понижающий; 4 – колонка сливная; 5 – баллон с природным газом; 6 – магистраль сбора газа; 7 – счетчик газа; 8 – манометр; 9 – вентиль максимального наполнения; 10 – вентиль паровой фазы; 11 – заправочный вентиль; 12 – вентиль жидкой фазы; 13 – сливная пробка; 14 – резервуар сливной; 15 – вентиль слива жидкой фазы СУГ; 16 – вентиль на продувочную свечу; 17 – тройник; 18 – тройник; 19 – вентиль; 20 – ВЗУ без обратного клапана; 21 – шланг с пистолетом для слива СУГ; 22 – баллон газовый; 23 – моноблок; 24 – ВЗУ; 25 – шланг с пистолетом для подачи природного газа; 26 – шланг с пистолетом для раздачи жидкой фазы газа; 27 – газобаллонный автомобиль.

Отсутствие постов слива газа связано с тем, что нормативным документом РД 3112199-1094-03 предписывается наличие поста слива газа либо на АГЗС, либо на специально организованной площадке на АТП где хранятся и обслуживаются газобаллонные автомобили. Четко не указано, где именно должен находиться пост слива газа, поэтому они отсутствуют и на АТП, и на АГЗС. Таким образом, необходимо доработать нормативно-технические документы регламентирующие эксплуатацию ГБА и четко указать, где необходимо расположить посты слива газа.

#### *Рекомендуемые дополнения в ОСТ 37.001.653-99*

В текущий период в нормативном документе ОСТ 37.001.653-99 не указано, каким образом осуществлять слив СУГ из автомобильных газовых баллонов, оборудованных мультиклапаном. В системе питания ГБА отсутствуют какие-либо дополнительные устройства для подсоединения



шлангов поста слива СУГ для выполнения операций слива газа. В данный нормативный документ в существующей редакции в п. «4.1.1. ГБО для ТС должно обязательно включать в себя следующие агрегаты и элементы» необходимо внести следующие дополнения, обозначив их п. 9.

п. 9) магистраль слива СУГ из автомобильного газового баллона, включающую перечисленные ниже устройства:

- тройник со скоростным клапаном;
- вентиль слива газа;
- ВЗУ без обратного клапана;
- газопровод, последовательно соединяющий эти устройства.

После монтажа магистрали слива СУГ в газовую систему питания необходимо произвести испытания на герметичность.

*Рекомендуемые дополнения в ТУ 152-12-008-99*

В нормативном документе ТУ 152-12-008-99 «Автомобили и автобусы. Переоборудование грузовых, легковых автомобилей и автобусов в газобаллонные для работы на сжиженных нефтяных газах. Приемка на переоборудование и выпуск после переоборудования. Испытания газотопливных систем. Технические условия» пункт 1.3. «Технические требования к газобаллонному оборудованию для ГСН, устанавливаемому при переоборудовании» дополнить пункт 1.3.1. «Под газобаллонным оборудованием, устанавливаемым на АТС при переоборудовании на ГСН, понимается» и изложить его в следующей редакции:

- баллон (баллоны);
- запорно-расходная, наполнительная и предохранительная аппаратура, расположенная на баллоне;
- узлы и элементы соединений для магистрали слива СУГ из автомобильного газового баллона, включающую в себя тройник со скоростным клапаном, вентиль слива газа, ВЗУ без обратного клапана и газопровод.

Последний абзац, изложенный в представленной редакции, будет констатировать дополнения к комплектации баллона, т.к. перечисленные узлы и элементы соединений предназначены именно для слива газа из автомобильного газового баллона в случаях, предусмотренных технологией ТО и ТР ГБА.

*Рекомендуемые дополнения в РД 3112199-1094-03*

Требования к комплекту и конструкции магистрали слива СУГ из автомобильного газового баллона необходимо внести в п. «3. Конструктивные особенности газобаллонного оборудования ГБА, работающих на ГСН. 3.1. Комплектность газобаллонного оборудования для ГСН и эксплуатационные требования к нему».

В п. «5.1. Режимы технического обслуживания и текущего ремонта газовой аппаратуры» необходимо внести рекомендации по методике проведения обслуживания ГБА, оснащенных магистралью слива СУГ из автомобильного газового баллона:

- при ЕО проверить герметичность соединения магистрали слива СУГ с расходной магистралью. Очищать при необходимости ВЗУ без обратного клапана от пыли и грязи;

- при ТО-1 проверить герметичность соединения магистрали слива СУГ с расходной магистралью при помощи мыльного раствора;
- при ТО-2 выполнить работы ТО-1, а также снять, очистить и установить на место тройник и вентиль слива газа, проверить работоспособность скоростного клапана.

Порядок слива СУГ из автомобильного газового баллона необходимо внести в п. «5.1.2. Слив сжиженного нефтяного газа из газового баллона».

Варианты технологических схем постов слива СУГ на АГЗС и АТП необходимо внести в п. «5.2.2. Пост слива газа».

Внесенные изменения в нормативно-техническую документацию разрабатываются и утверждаются в виде стандарта организациями, занятыми разработкой, производством, оказанием услуг по монтажу ГБО и обслуживанию ГБА, руководствуясь требованиями статьи 17 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [7].

Для обеспечения безопасной эксплуатации газобаллонных автомобилей в нефтегазовом комплексе Западной Сибири необходимо внедрить в практику эксплуатации научные разработки и следующие рекомендации:

1. Модернизировать систему питания газобаллонных автомобилей;
2. Организовать посты слива газа на местах заправки и хранения газобаллонных автомобилей;
3. Внести изменения и дополнения в действующую нормативно-техническую документацию в виде стандарта организации на основании результатов проведенных исследований.

## Список литературы

1. Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Исследования приспособленности автомобилей, работающих на природном газе и бензине, к фактическим температурам воздуха // Газовая промышленность. – 2014. – № 2 (702). – С. 82-85.
2. Певнев Н.Г., Раенбагина Э.Р., Ёлгин А.П. Двухтопливная система питания двигателя // Полезная модель 90137 РФ 27.12.2009.
3. Певнев Н.Г., Раенбагина Э.Р. Обоснование необходимости совершенствования системы питания двигателя СУГ // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – №1. – С. 18-19.
4. Певнев Н.Г., Раенбагина Э.Р. Пост слива газа на АГЗС и определение технологических параметров слива газа из автомобильных баллонов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – №4. – С. 46-50.
5. Певнев Н.Г., Раенбагина Э.Р. Пост слива сжиженного углеводородного газа из автомобильных баллонов на автотранспортном предприятии // Полезная модель 102244 РФ 20.02.2011.
6. Певнев Н.Г., Раенбагина Э.Р., Гурдин В.И. Предотвращение ущерба окружающей среде от несанкционированного слива газа из автомобильных баллонов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – №6. – С. 44-50.
7. О техническом регулировании : федеральный закон РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 52 ч.1. – Ст. 5140.

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИДИМОСТИ СВЕТОФОРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ВОДИТЕЛЯМИ НА СТАРТОВЫЕ ЗАДЕРЖКИ**

*А.В. Писцов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

При осуществлении мероприятий по организации дорожного движения важная роль отводится внедрению технических средств: дорожных знаков и разметки, объектов светофорного регулирования, дорожных ограждений и направляющих устройств.

Светофорное регулирование представляет собой один из главных методов обеспечения безопасности дорожного движения. Повышение степени безопасности дорожного движения на участках улично-дорожной сети с высокой интенсивностью движения возможно путем введения регулирования транспортных и пешеходных потоков путем установки светофорных объектов на перекрестках и пешеходных переходах [1].

В начале основного такта, транспортные средства, которые ожидают разрешающий сигнал светофора начинают движение с некоторой задержкой, которая связана с реакцией водителя на разрешающий сигнал и разгоном ТС. Интенсивность движения в сечении стоп-линии постепенно нарастает и через некоторое время достигает значения, равного пропускной способности данного направления. Задержка движения в начале такта, называется стартовой задержкой. Так как движение в этот период практически отсутствует, то его считают потерянным временем в фазе светофорного регулирования [2,3].

К потерянному времени следует отнести и промежуточный такт за вычетом времени прорыва на жёлтый сигнал ТС, которые не смогли своевременно остановиться у стоп-линии.

Движение начинают позже момента включения разрешающего сигнала и заканчивается позже момента его окончания.

Теоретически, большие потери времени связаны с задержками на старте из-за отсутствия повторного светофорного объекта, т.е. снижения видимости водителем разрешающего сигнала.

Расстояние видимости сигналов светофора определяют геометрические характеристики дороги, наличие препятствий в непосредственной близости от дороги, состояние атмосферы и светотехнические параметры светофора. Исследования, проведенные в этой области учеными, показывают, что для обеспечения безопасности движения на кривых малых радиусов угол видимости сигналов светофора должен быть не менее 40 — 50°. На прямолинейных участках дорог считается достаточным иметь ширину светового пучка сигнала в горизонтальной плоскости  $\pm 10^\circ$ .

Дороги имеют переменный продольный профиль, а светофоры устанавливаются (подвешиваются) на большой высоте над дорожным покрытием, поэтому угол видимости сигналов или угол раствора пучка света светофора в вертикальной плоскости должен быть не менее  $8^\circ$  и  $15^\circ$  для дорог высоких низких категорий, соответственно [4].

Определение дальности видимости сигналов светофорной сигнализации с движущегося автомобиля с учетом требований безопасности движения является общим для любых условий наблюдения и состоит в следующем. Расстояние видимости включившегося сигнала светофора должно быть не меньше остановочного пути автомобиля. Остановочный путь рассчитывают исходя не из условия аварийного торможения, а из условия служебного торможения (замедление не превышает  $2 - 3 \text{ м/с}^2$ ) с учетом времени, необходимого водителю на поиск сигнала и его восприятие. Если принять продолжительность поиска сигнала и реакции водителя  $1,7 \text{ с}$ , то для скорости движения  $60 \text{ км/ч}$  необходимо обеспечить расстояние видимости сигналов светофора  $100 \text{ м}$ . Такое расстояние принято в настоящее время в качестве нормативной величины. В случае если расчетное расстояние видимости обеспечить невозможно, необходимо на этом участке дороги ограничивать скорость движения и устанавливать дорожный знак 1.8 «Светофорное регулирование».

Для исследования влияния видимости светофорной сигнализации на пропускную способность регулируемых пересечений были выбраны следующие перекрестки:

1. улица Широкая – улица Николая Федорова,
2. улица Широкая - проезд МЖК,
3. улица Широкая – улица Народная,
4. улица Мельникайте – улица Таймырская,
5. улица Мельникайте – улица Харьковская,
6. улица Щербакова – улица Дружбы,

для видеозаписи материалов, содержащих информацию об участниках движения в час «пик», задержках на старте.

После эксперимента полученные видеоматериалы проанализированы, составлены таблицы, содержащие информацию о задержках на перекрестках по каждому направлению, полосе движения, определена интенсивность движения автомобилей за тот же промежуток времени.

Отмечено, что основная нагрузка на улично-дорожную сеть города приходится с 8 до 20 часов, в этот период проходит более 80% суточного объема движения.

Из полученных данных следует, что наибольшие потери интенсивности движения наблюдаются по направлениям с отсутствующим повторным светофорным объектом: улица Широкая – проезд МЖК –  $67 \text{ авт./час}$  ( $4,3\%$  от общего объема интенсивности движения по направлению) и, улица Широкая – улица Народная –  $34 \text{ авт./час}$  ( $2,8\%$  от общего объема интенсивности движения по направлению).

Сравнение данных в рамках одного перекрестка улица Мельникайте – улица Харьковская показывает, что в направлении, имеющем повторный светофор длительность средневзвешенной задержки на старте сокращается в 3,5 раза по абсолютному показателю, и в 1,9 раз по относительным показателям.

Анализируя все вышесказанное, следует отметить, что максимальная средняя задержка на старте на Т-образных перекрестках, наблюдается на регулируемом пересечении: улица Широкая – проезд МЖК; на Х-образных - улица Мельникайте – улица Харьковская.

После проведения мероприятий по установке повторных светофоров на перекрестке улица Широкая – проезд МЖК пропускная способность возрастет на 310 авт./час. На перекрестке улица Мельникайте – улица Харьковская требуется только один повторный светофор, с его помощью пропускная способность возрастет на 102 авт./час.

Проведенные исследования и расчеты доказывают зависимость пропускной способности перекрестков от видимости светофорного объекта.

#### **Список литературы**

1. Зырянов, В.В. Критерии оценки условий движения и модели транспортных потоков. – Кемерово.: Кузбасский политехнический институт, 1993. – 164с.
2. Кременец Ю.А., Печерский М.П. Инженерные расчеты в регулировании дорожного движения: Учебное пособие / МАДИ. – Москва, 1977. – 110 с.
3. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. -279 с.
4. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. [Электронный ресурс] /Информационно-правовой портал. – Режим доступа: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/45/45795/](http://www.infosait.ru/norma_doc/45/45795/).

УДК 656.13

### **О ПАРАДОКСЕ В ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНЫХ САМОХОДНЫХ МАШИН**

*С.П. Пожидаев*

*Украина, Киев, Национальный университет биоресурсов и  
природопользования*

На самоходных машинах, предназначенных для эксплуатации в условиях бездорожья, широко применяются колеса с шинами низкого и сверхнизкого давления, обеспечивающими высокую проходимость в самых неблагоприятных условиях движения.

Особенностью таких шин является значительная нормальная деформация и, как следствие, существенное различие (до 15...25 % [1, с.13]), между значениями динамического радиуса  $r_d$  (расстояния от опорной поверхности до оси колеса) и радиуса качения  $r_k$ , рассматриваемого без учёта буксования или проскальзывания [2, пп. 27, 38]:

$$r_k = v_T / \omega \equiv L_T / \alpha. \quad (1)$$

где  $v_T$  – продольная составляющая поступательной скорости движения без учёта буксования или скольжения;  $\omega$  – угловая скорость вращения колеса в плоскости его вращения;  $L_T$  – продольная составляющая теоретического пути, пройденного колесом;  $\alpha$  – угол поворота колеса в плоскости его вращения.

Однако теория движения колесных самоходных машин не даёт однозначного ответа на вопрос о том, какой же из этих радиусов следует применять при расчете силы тяги упомянутых машин. Представители одной научной школы [2; 3; 4] применяют упомянутый выше радиус качения, а представители другой научной школы [5; 6] – динамический радиус (далее будем называть эти школы соответственно первой и второй).

Но в таком случае никакая из этих научных школ не может претендовать на истинность. Любые результаты расчётов силы тяги колесных машин на эластичных шинах можно оспорить, аргументировано противопоставив им другие, отличающиеся на 15 ... 25 %.

Причем ни та ни другая школы не приводят доказательств ни несостоятельности подходов конкурента, ни оправданности одновременного существования двух альтернативных точек зрения.

Это парадокс, свидетельствующий о наличии существенной научной проблемы. **Не усматривая оснований для одновременного существования двух взаимоисключающих научных истин, полагаем, что данную проблему следует решить путем предоставления неоспоримого доказательства несостоятельности одной из научных школ, что и является целью данной работы.**

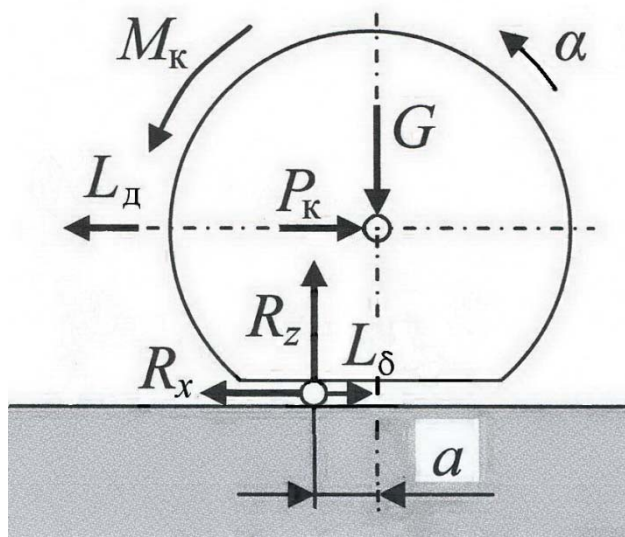
Положим, что противоречие между научными школами является следствием различных методических подходов. В первой научной школе опираются на баланс мощности колеса, при составлении которого применяют радиус качения, который в конечном счёте и перемещается в окончательный результат. А во второй научной школе исходят из силового равновесия колеса и изначально вводят в схему сил именно динамический радиус, который и перемещается в окончательный результат. Для разрешения про-

тиворечия функционирование колеса рассматривалась нами в наиболее общем виде – с энергетической точки зрения.

Подвод энергии осуществляется крутящим моментом  $M_k$ , поворачивающим колесо в плоскости его вращения на некоторый угол  $\alpha$  (см. рис.). Механическая работа, выполненная моментом, равна  $M_k \alpha$ . Упомянутый поворот колеса сопровождается по крайней мере одним из двух таких явлений:

- некоторым действительным поступательным перемещением колеса  $L_d$ ;

- некоторым пробуксовыванием колеса  $L_\delta$ , которое представляет собой поступательное перемещение протектора шины относительно опорной поверхности в направлении, противоположном теоретической скорости движения.



На пути действительного перемещения  $L_d$  колесо выполняет полезную механическую работу  $L_d P_k$ . На пути буксования  $L_\delta$  рассеивается механическая энергия  $L_\delta R_x$ , где  $R_x$  – продольная реакция дороги. Данная реакция численно равна силе тяги колеса  $P_k$ , вследствие чего рассеиваемая энергия может быть записана в виде  $L_\delta P_k$ .

В процессе преодоления момента сопротивления перекачиванию колеса  $R_z a$  (обусловленного внутренними потерями энергии в материале шины и опорной поверхности) крутящий момент выполняет механическую работу  $R_z a \alpha$ .

Таким образом, баланс энергий и работ, выполняемых колесом, имеет вид:

$$M_k \alpha = P_k (L_d + L_\delta) + R_z a \alpha.$$

Сумма величин, находящихся в скобках, представляет собой теоретический путь поступательного перемещения колеса  $L_T$ , вследствие чего баланс энергий и работ принимает вид:

$$M_k \alpha = P_k L_T + R_z a \alpha, \quad (2)$$

из которого получаем соотношение:

$$M_k = P_k(L_T/\alpha) + R_z a. \quad (3)$$

Из него следует, что показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса  $M_k$  и его силой тяги  $P_k$  является некоторая величина  $L_T/\alpha$ . Согласно определению (1) она представляет собой радиус качения колеса без учета буксования или скольжения  $r_k$ , что подтверждает правильность первой научной школы.

Кроме того, существенным обстоятельством является тот факт, что равенство (3) вытекает из баланса энергий и работ, подчинённого закону сохранения энергии; а альтернативное соотношение (содержащее динамический радиус) противоречит равенству (3). **Это означает, что альтернативное соотношение противоречит закону сохранения энергии [7, с. 63], что и является неоспоримым доказательством несостоятельности второй научной школы.**

Возможна и численная проверка баланса (2) на соблюдение закона сохранения энергии. Предположим, что имеем колесо со следующими параметрами и показателями нагружения: радиус качения  $r_k = 1,0$  м; динамический радиус  $r_d$  может иметь любое значение, отличное от значения радиуса качения, примем  $r_d = 0,8$  м; крутящий момент  $M_k = 10$  Н·м; угол поворота колеса в плоскости вращения  $\alpha = 1,0$  рад; нормальная реакция дороги  $R_z = 20$  Н; продольный снос нормальной реакции  $a = 0,1$  м.

В соответствии с (1) значение теоретического пути  $L_T = r_k \alpha = 1,0$  м, а в соответствии с применяемым в работах [5; 6] соотношением  $M_k = P_k r_d + R_z a$  значение силы тяги колеса  $P_k$  равно  $(M_k - R_z a)/r_d = (10 - 20 \cdot 0,1)/0,8 = 10,0$  Н.

Подстановкой всех полученных значений в баланс (2) получаем:

- левая часть баланса (энергия, подведенная к колесу) равна 10,0 Дж;
- правая часть (работа, выполненная колесом) равна 12 Дж.

Баланс не соблюдается: колесо, расчёт которого проводится с применением динамического радиуса, меньшего чем радиус качения, представляет собой источник даровой энергии (вечный двигатель), что, как известно, невозможно. Если же условно принять, что динамический радиус является бóльшим, чем радиус качения, то получаем, что колесо представляет собой "чёрную дыру", в которой энергия бесследно исчезает.

Соблюдение баланса (2) обеспечивается только в одном-единственном случае – когда сила тяги колеса  $P_k$  равна 8,0 Н, что достигается при её вычислении с применением только радиуса качения, рассматриваемого без учета буксования или скольжения.



Возможно и другое, предельно простое, опирающееся на курс элементарной физики, доказательство несостоятельности второй научной школы. А именно, её представители полагают следующее:

а) показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса и его силой тяги является динамический радиус колеса;

б) показателем взаимосвязи между угловой скоростью вращения колеса и продольной составляющей его теоретической поступательной скорости является радиус качения, рассматриваемый без учёта буксования или скольжения.

Из этого следует, что при флуктуациях значений радиусов колёс (неизбежных при колебаниях нормальной нагрузки) их сила тяги изменяется по закону, определяемому законом изменения динамического радиуса, а поступательная скорость – по закону изменения радиуса качения.

Однако это противоречит "золотому правилу механики", которое гласит: во **сколько раз** мы проигрываем в скорости, во **столько же раз** выигрываем в силе. Поскольку до настоящего времени не обнаружено ни одного случая несоблюдения этого правила, то в качестве показателя взаимосвязи в обоих пунктах должен применяться **один и тот же радиус**. Это условие, как видим, не соблюдается, что является неоспоримым доказательством некорректности второй научной школы.

Вместе с тем данный факт еще не является доказательством правильности первой школы, ведь в пунктах а) и б) может одновременно применяться или радиус качения (как в первой научной школе), или динамический радиус (как в некоторой гипотетической "третьей" научной школе). Но эта дилемма тоже просто решается с помощью "золотого правила механики". А именно, поскольку в обоих пунктах обязательно должен применяться один и тот же радиус, то доказанная правомерность применения того или иного радиуса **в любом одном из пунктов** будет автоматически означать необходимость его применения **в обоих пунктах одновременно**.

Обращаемся к п. а). У нас нет оснований ни для отклонения, ни для принятия предположения о правомерности применения в нем динамического радиуса. Следовательно, мы не можем опираться на этот пункт.

Обращаемся к п. б). Он является прямым следствием из определения (1), что свидетельствует о правомерности применения в нем радиуса качения. А это автоматически означает необходимость применения радиуса качения и в п. а), что подтверждает правильность подходов именно первой научной школы.

**Выводы.** Применение динамического радиуса эластичных колёс при расчете силы тяги самоходных машин является некорректным, т.к. противоречит закону сохранения энергии и следствиям из него.

Научная школа, применяющая при расчетах силы тяги колесных самоходных машин радиус качения, рассматриваемый без учета буксо-

вания или скольжения колес, безупречна с точки зрения закона сохранения энергии.

Альтернативная научная школа, применяющая динамический радиус, таковой не является. Что касается причины, которая привела представителей этой школы к заблуждению о возможности применения динамического радиуса, то это представляет собой задачу для дальнейшей работы.

#### **Список литературы**

1. Петрушов В.А., Шуклин С.А., Московкин В.В. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов. М.: Машиностроение, 1975. – 225 с.
2. ГОСТ 17697-72. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1972. – 24 с.
3. Смирнов Г. А. Теория движения колёсных машин. М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
4. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория. Мн. – Высшая школа, 1986. – 208 с.
5. Тракторы. Теория. / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов [и др.]; под ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
6. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. – 504 с.
7. Иродов И.Е. Основные законы механики. – М.: Высшая школа, 1978. – 240 с.

УДК 656.13

### **О ПРИЧИНЕ, ПРИВЕДШЕЙ К ЗАБЛУЖДЕНИЮ О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИУСА В ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕСНЫХ САМОХОДНЫХ МАШИН**

*С.П. Пожидаев*

*Украина, Киев, Национальный университет биоресурсов и  
природопользования*

Автором ранее было показано, что применение динамического радиуса эластичных колёс при вычислении силы тяги самоходных машин противоречит закону сохранения энергии, вследствие чего является ошибочным. Этим самым был устранен парадокс в теории движения колесных самоходных машин, заключающийся в возможности аргументировано оспаривать любые результаты расчетов их силы тяги. Однако причина, которая привела исследователей к заблуждению о возможности применения динамического радиуса при вычислении силы тяги, осталась не раскрыта.

Целью исследования является выяснение упомянутой причины.

Исходным положением для исследования является тот факт, что математические построения работ [1; 2] являются корректными. Это даёт право предположить, что причиной некорректности результатов, полученных в

упомянутых работах, является примененная в них механическая модель эластичного колеса, рассматриваемого в виде монолитного деформированного затвердевшего тела, взаимодействующего с опорной поверхностью на плече, равном динамическому радиусу.

Для проверки такого предположения проанализируем процессы, происходящие при качении жесткого и эластичного колес.

На рис. 1 изображено жесткое колесо, диск 1 которого приводится во вращение с угловой скоростью  $\omega$ , рад/с, а буксование или проскальзывание колеса относительно опорной поверхности отсутствует.

В таком случае т.  $B$  контакта шины с опорной поверхностью будет представлять собой мгновенный центр вращения колеса в его абсолютном движении, вследствие чего линейные скорости движения точек  $O$  и  $A$  будут равны:

– линейная скорость т.  $O$ , м/с:

$$v = \omega \cdot r_k, \quad (1)$$

где  $r_k$  – радиус качения колес без учета буксования или скольжения, м, под которым, согласно п.27 стандарта [3] понимают отношение продольной составляющей поступательной скорости колеса  $v$ , м/с, к его угловой скорости в плоскости вращения  $\omega$  (или, что то же, отношение продольной составляющей пути  $L$ , м, пройденного колесом, к углу его поворота  $\alpha$ , рад):

$$r_k = v / \omega \equiv L / \alpha; \quad (2)$$

– линейная скорость т.  $A$  колесного диска диаметром  $d$ , м/с:

$$v_A = v - \omega \cdot 0,5d = \omega \cdot (r_k - 0,5d). \quad (3)$$

Точка  $B$  представляет собой мгновенный центр вращения колеса, поэтому ее линейная скорость и длина вектора скорости равны нулю.

Соединив прямыми линиями концы векторов скоростей точек  $O$ ,  $A$  и  $B$ , получаем эпюру распределения линейных скоростей точек жесткого колеса в сечении  $OAB$ . Она по всей длине являет собой прямую линию, что свидетельствует об одинаковости угловых скоростей вращения жесткого колеса во всём упомянутом сечении.

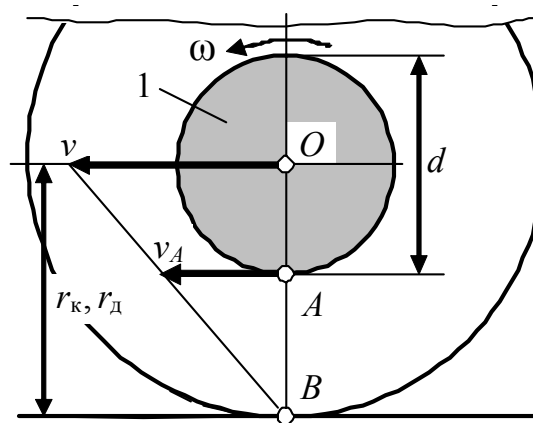


Рис. 1.

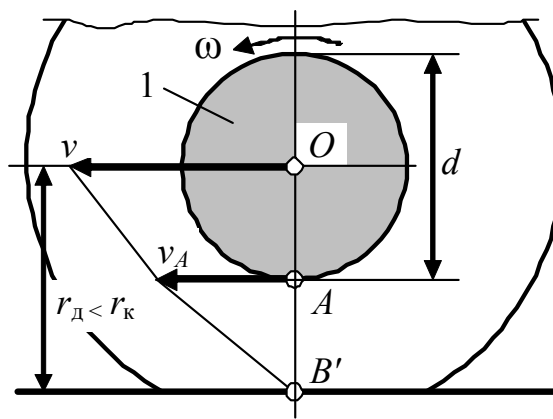


Рис. 2.

На рис.2 изображено колесо с эластичной шиной, брекерный пояс которой, как известно, имеет большую жесткость в окружном направлении, вследствие чего беговая дорожка "... ведет себя при качении колеса подобно тракторной гусеничной ленте" [4, с. 38].

При таких условиях путь  $L$ , проходимый колесом при его повороте в плоскости вращения на один оборот ( $\alpha = 2\pi$ ), останется таким же, как и в предыдущем случае.

Это означает, что радиус качения колеса (согласно выражению (2)) и линейная скорость движения т.О (согласно выражению (1)) в данном случае тоже будут такими, как и в предыдущем случае, что отражено на рис. 2 вектором  $v$  скорости движения т.О, равным такому же вектору на рис. 1. В соответствии с соотношением (3) линейная скорость движения т. А тоже останется без изменений, что также отражено на рис. 2. Линейная скорость и длина вектора скорости т. В' равны нулю.

Соединив концы векторов скоростей точек О, А и В' прямыми линиями, получаем эпюру распределения линейных скоростей точек эластичного колеса в сечении  $OAB'$ . Она представляет собой ломаную линию, что свидетельствует о различных угловых скоростях вращения участков  $OA$  и  $AB'$  сечения  $OAB'$  колеса. На участке  $OA$  угловая скорость вращения остаётся той же, что и раньше, равной  $\omega$ . Но на участке  $AB'$  угловая скорость  $\omega'$  несколько больше, потому что на меньшем, чем у жёсткого колеса, плече  $AB'$  (равном  $r_d - 0,5d$ ) она обеспечивает ту же линейную скорость  $v_A$ , что и у жёсткого колеса:

$$v_A = \omega \cdot (r_k - 0,5d) = \omega' \cdot (r_d - 0,5d).$$

Физический смысл этого парадоксального явления прост: на участке  $AB'$  деформированной шины происходят относительные тангенциальные перемещения слоев её боковин (находящихся на различном удалении от центра колеса), обеспечивающие увеличение угловой скорости участка от  $\omega$  до  $\omega'$ . Это, в частности, объясняет причину быстрого разрушения боковин шин при излишне пониженном давлении воздуха в них, когда тангенциальные перемещения слоев боковин становятся недопустимо интенсивными.

Из последнего соотношения

следует, что угловая скорость  $\omega'$  вращения участка  $AB'$  сечения  $OAB'$  эластичного колеса равна, рад/с:

$$\omega' = \omega \cdot (r_k - 0,5d) / (r_d - 0,5d). \quad (4)$$

Вследствие этого эластичное колесо нельзя рассматривать как монолитное затвердевшее тело.

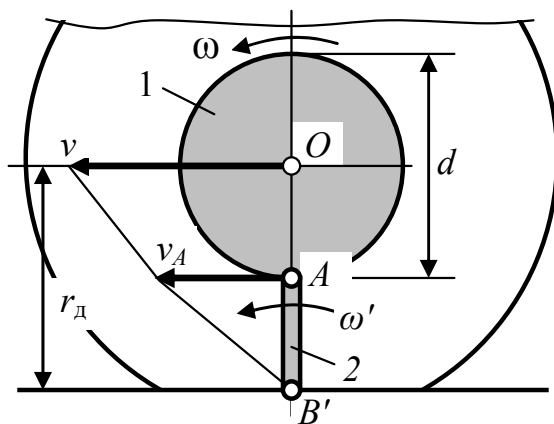


Рис. 3.

Если применять принцип затвердевания, то эластичное колесо следует представлять в виде двух твердых тел, шарнирно соединенных между собой (рис. 3) – колесного диска 1 с посадочным диаметром  $d$ , вращающегося с угловой скоростью  $\omega$ , и прикрепленного к нему рычага 2 длиной  $AB' = r_d - 0,5d$ , м, угловая скорость вращения которого ( $\omega'$ ) несколько больше, чем  $\omega$ , и определяется по выражению (4).

Только в таком случае механическая модель колеса, в которой применяется динамический радиус, будет давать истинное значение поступательной скорости т.  $O$  колеса:

$$v = (r_d - 0,5d) \cdot \omega' + 0,5d \cdot \omega = r_k \cdot \omega. \quad (5)$$

Силы, действующие в такой механической системе, невозможно определить с помощью уравнения её равновесия под действием приложенных сил и моментов, что не учтено в работах [1; 2]. Это можно сделать только с помощью уравнения виртуальной работы или баланса энергий и работ.

Однако правая часть уравнения (5) указывает на правомерность применения и самой простейшей модели эластичного колеса – в виде монолитного недеформированного тела, взаимодействующего с опорной поверхностью на плече, равном радиусу качения колеса, рассматриваемому без учета буксования или скольжения.

**Выводы.** Причиной заблуждения о возможности применения динамического радиуса в теории движения колесных самоходных машин является некорректность представления эластичного колеса в виде монолитного деформированного затвердевшего тела, взаимодействующего с опорной поверхностью на плече, равном динамическому радиусу. В случае применения последнего эластичное колесо следует рассматривать как механическую систему двух твердых тел, шарнирно соединенных между собой – колесного диска диаметром  $d$  и прикрепленного к нему рычага длиной  $r_d - 0,5d$ , угловая скорость вращения которого в  $(r_k - 0,5d)/(r_d - 0,5d)$  раз больше, чем угловая скорость диска.

Но это приводит к тем же результатам, что и представление эластичного колеса в виде монолитного недеформированного тела с радиусом, равным радиусу качения, рассматриваемому без учета буксования или скольжения. Поэтому предпочтительнее применять именно такую модель.

## Список литературы

1. Тракторы. Теория. / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов [и др.]; под ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
2. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС, 2004. – 504 с.

3. ГОСТ 17697-72. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. – Введ. 1972-05-06. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 24 с.
4. Работа автомобильного колеса / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П.Петров и др. – М.: Транспорт, 1976. – 239 с.

УДК 625.7.8

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕМЕНТОБЕТОНА

*Е.С. Попова*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Важность поставленного вопроса обусловлена существующими реалиями. За последнее десятилетие очень сильно возросло количество автомобилей, постоянно возрастают грузопотоки, скорости движения и грузоподъемности автомобилей - всё это привело к такому росту динамического воздействия на дорожную сеть страны, что на сегодняшний день она оказалась не способной соответствовать восприятию таких нагрузок. Значительная часть федеральных дорог имеет высокую степень износа и исчерпала свою пропускную способность. По данным Федерального дорожного агентства протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием к 2015 году составила 519 544,4 км. При этом достаточно большой процент не отвечает нормативным требованиям, что касается автомобильных дорог, относящихся к Тюменской области, здесь не отвечают нормативным требованиям 43,9% дорог, в ХМАО - 18,6%, в ЯНАО - 14,5%. Данную статистику наглядно можно увидеть на рисунке 1.



Рис. 1. Протяженность автомобильных дорог

На сегодняшний день перед дорожниками стоят задачи по внедрению эффективных технологий строительства и реконструкции автомобильных дорог. Создаются стратегии и программы модернизации, но ни в одном документе планирования строительства дорог не говорится о внедрении новых технических решений. Предлагаются способы улучшения асфальтобетона, который является, в основном, не жестким покрытием с низкой морозостойкостью, плохо реагирует на жару, подвержен колееобразованию, работает всего в течении 2-5 лет, особенно в условиях нарастания максимальных нагрузок на дорожное полотно и фактически дороги подлежат ремонту уже через 3-4 года. В тоже время из-за нестабильного положения в экономике, цена на битум растет вместе с ценой на нефть, одновременно растут и бюджеты на строительство. Одним из путей решения проблем качества в дорожном строительстве является повышение долговечности дорожных одежд путём расширения применения цементобетона. В СССР и позже, в России, их применение с середины 70-х годов было практически заморожено. На это были свои, в основном, экономические причины.

Стоимость конструкций с покрытиями из цементобетона в настоящее время сопоставима со стоимостью конструкций с асфальтобетонными покрытиями. Расчет стоимости был произведен с использованием данных стоимость 1 кв.м покрытия автомобильной дороги 1 технической категории (МКАД – Кашира). Расчетные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная стоимость 1 кв.м конструкции дорожной одежды

| Жесткая дорожная одежда                            | Стоимость с НДС, руб. | Нежесткая дорожная одежда                                 | Стоимость с НДС, руб. |
|----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| Цементобетон<br>В30/Вtb 4,0 – 24см                 | 734,18                | Мелкозернистый асфальтобетон на ПБВ, тип А, марка 1 – 5см | 230,63                |
|                                                    |                       | Крупнозернистый асфальтобетон марка 1 – 7см               | 240,55                |
|                                                    |                       | Пористый асфальтобетон марка 1 – 8см                      | 258,94                |
| Тощий бетон – 18см                                 | 352,31                | Тощий бетон – 25см                                        | 382,94                |
| Технологический слой из щебня М: 600 – 15см        | 112,95                | Технологический слой из щебня М: 600 – 15см               | 112,95                |
| Морозозащитный слой – 50см                         | 152,69                | Морозозащитный слой – 50см                                | 152,69                |
| Итого стоимость 1 кв.м конструкции защитной одежды | 1352,13               | Итого стоимость 1 кв.м конструкции защитной одежды        | 1378,70               |

Так, стоимость 1 кв.м покрытия автомобильной дороги 1 технической категории (МКАД - Кашира) с цементобетонным покрытием составляет 1352,13 руб., а с асфальтобетонным покрытием – 1378,70 руб. При этом сроки службы цементобетонных покрытий в несколько раз выше, такие покрытия первые 10 -12 лет эксплуатации практически не требуют никакого ремонта, затраты на обслуживание цементобетонных дорог значительно меньше затрат на асфальтобетонных. Высокая долговечность бетона позволяет сократить расходы на содержание и ремонт до минимума. Применяя цементобетон на современном уровне, с использованием специальных добавок, регулирующих сроки схватывания, прочность, морозостойкость, инновационных методов укладки и ухода за бетоном, с реализацией новых конструкции дорожных одежд, отвечающих современным методам можно добиться повышения качества дорожного покрытия и увеличения показателей надежности и долговечности автомобильных дорог. Помимо прямых экономических выгод от строительства, данное покрытие обеспечивает такие технико-экономические преимущества при эксплуатации дороги как

- Высокая прочность цементобетона и общая жесткость дорожных одежд с цементобетонными покрытиями, способными выдерживать нагрузки, намного превышающие проектные для асфальтобетона, при одинаковых условиях и требованиях;

- Большой срок службы цементобетонного покрытия (по данным многочисленных исследований отечественной и зарубежной практики в 1,5–2 раза больше, чем у асфальтобетонного);

- Рост прочности цементобетона во времени, что способствует поддержанию его высоких транспортно-эксплуатационных качеств без значительных ремонтов на длительные сроки, снижая, тем самым затраты на его эксплуатацию.

- Способность цементобетонной дорожной одежды существенно облегчать работу земляного полотна при проезде тяжелых транспортных средств, когда за счет жестких плит цементобетона нагрузка распределяется равномерно, тем самым значительно снижая ее воздействие на подстилающие грунты дорожной конструкции; отсюда и долговечность конструкции в целом;

- Стабильно высокие деформативные свойства цементобетонного покрытия при постоянных знакопеременных температурных воздействиях, что для климатических условий России особенно характерно, так как оно, в отличие от асфальтобетонного, не так восприимчиво в силу своих заданных свойств;

- Стабильность коэффициента сцепления покрытия с колесами автомобилей в силу природных свойств материалов, из которых он состоит, слабая его зависимость от степени увлажнения покрытия;

- Хорошая видимость покрытия в темное время суток.

Всё это приобретает особое значение в контексте транспортных проблем России.



В России строительство и реконструкцию дорог с покрытием из цементобетона можно осуществлять исключительно за счет отечественных материалов, способствуя увеличению объемов выпуска цемента и других необходимых строительных материалов, а также увеличив число рабочих мест. Сейчас уровень производства материалов достаточен для удовлетворения всех потребностей дорожного хозяйства. По данным НИЦ "Строительство" в России производится около 70 млн. т. цемента в год. В 2013 году введен в действие ГОСТ Р 55224-2012 "Цементы для транспортного строительства". Современные технологии

Позволяют устранить большинство слабых мест цементобетона, например, такое как поперечные швы. Непрерывно армированные цементобетонные покрытия привели к избавлению от температурных швов сжатия и растяжения.

Таким образом, достижения в области применения цементобетона в дорожном строительстве обеспечивают его высокую эффективность, при одновременном увеличении срока службы. Цементобетонные дорожные покрытия имеют высокую распределяющую способность, незначительный износ при истирании, высокий, мало зависящий от увлажнения коэффициент сцепления. Прочностные и деформативные характеристики цементобетона практически не меняются при изменении температуры, влажности и скорости нагружения. Для производства портландцемента имеются большие сырьевые ресурсы. Всё это способствует повышению показателей качества дорожного покрытия и качества автомобильных дорог в целом.

#### **Список литературы**

1. Справочная энциклопедия дорожника / подред. А.П.Васильева. - М.: 2005. - 562 с.
2. Ушаков, В.В. Магистральям России – долговечные покрытия / В.В. Ушаков // Дороги Евразии. -2014. - №1. - С. 23-25.
3. Коровяков, В.Ф. Предпосылки для развития строительства дорог с применением цементных бетонов / В.Ф. Коровяков // Технологии бетонов. -2014. - №3. - С. 25-29 Чучарь, В.Г. В чем преимущества дорог с цементобетонным покрытием. [Электронный ресурс], -<http://www.cstroy.ru/news/858/>

УДК 656.13

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ**

*В.В. Попцов, В.Н. Красовский, В.А. Корчагин*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Разработанные на данный момент методы формирования рационального числа и состава технологических процессов (или комплексов ремонтных ра-

бот – КРР) ЦРТС агрегатов транспортной техники основаны на вероятностном подходе. Для их реализации требуется проведение предварительных оптимизационных расчетов как технологической ( типовые сочетания ремонтных работ), так и информационной составляющей (состав контрольно-диагностических операций, вероятностей ошибок назначения КРР и т.п.)[1].

Информационная составляющая ЦРТС представляет собой набор действий и алгоритмов по сбору информации и расчету рационального числа и состава контрольно-диагностических операций, выполняемых на различных этапах определения параметров технического состояния ремонтируемых агрегатов и включает в себя: анализ причинно-следственных связей параметров технического состояния агрегата (построение структурно-следственной модели агрегата); составление априорной совокупности контрольно-диагностических операций для предремонтного и приремонтного диагностирования агрегата; мониторинг современных и перспективных методов и средств диагностирования агрегата; расчет вероятностно-статистических и стоимостных параметров контрольно-диагностических операций предремонтного и приремонтного диагностирования агрегата; формирование рационального числа и состава контрольно-диагностических операций предремонтного и приремонтного диагностирования агрегата[2].

Технологическая составляющая включает в себя аналогичные действия и алгоритмы по расчету вероятностно-статистических характеристик для оптимизации числа и состава типовых сочетаний ремонтных работ по конкретному агрегату.

Кроме того, существенное влияние на эффективность распределения ремонтируемых агрегатов по КРР оказывают не только субъективные факторы (рабочий разряд и возраст) мастеров-диагностов, но и такие объективные факторы, как рабочая смена и время суток принятия решения об отнесении агрегата к конкретному КРР.

На вероятность пропуска неисправности (ошибка 2-го рода) при определении технического состояния агрегата значительное влияние оказывает такой фактор, как наработка агрегата до поступления его в ЦРТС.

Так же установлено, что трудозатраты на определение вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода при распределении агрегатов по КРР растут с ростом трудоемкости выполнения разборочно-сборочных и сопутствующих им работ.

Существенным резервом повышения эффективности ЦРТС агрегатов автомобилей считается, и это доказано, внедрение приремонтного диагностирования в процесс разборки агрегата.

Однако, при значительном снижении потерь от ошибочного распределения агрегатов по КРР, пропорционально возрастают внутрипроизводственные затраты на организацию приремонтного диагностирования, повышение квалификации ремонтных рабочих и т.д.

Наблюдаемый в последнее время неуклонный рост разномарочности подвижного состава ведет к увеличению времени переналадки как количественного, так и качественного состава КРР. Это, в конечном итоге, усложняет организацию выполнения ремонтных работ и увеличивает время простоев агрегатов в ремонте.

Организация производства на предприятиях по ремонту автомобилей существенно осложнена большим разнообразием ее назначения, принципов действия, состава функциональных составных частей и их конструктивного устройства. При этом по однотипной технологии выполняются относительно небольшие объемы ремонтных работ. Это обуславливает необходимость решения задачи повышения гибкости производства, перерастающей в общую проблему взаимной приспособленности производства и продукции [3].

Анализ эффективности ремонта транспортно-технологических машин в условиях централизованных специализированных производств (ЦСПР) Западно-Сибирского нефтегазового комплекса (ЗСНГК) позволил сделать выводы о том, что основными проявлениями свойства приспособленности производства к продукции являются углубление внутризаводской специализации, обеспечение целесообразных пропорций в производстве, совершенствование производственной структуры, широкое использование групповой технологии. Свойство приспособленности производства к продукции проявляется только при наличии гибкого оперативного управления, основанного на прогрессивных информационных технологиях (ИТ).

Ядро ИТ, применяемых при ремонте спецтехники, составляют открытые инженерно-мониторинговые компьютерные системы с современным стандартным и оригинальным программным обеспечением, работающим по замкнутому циклу.

Основным проявлением свойства приспособленности продукции к производству является повышение ее технологичности, что применительно к ремонту означает выбор целесообразной глубины ремонтных воздействий, полной разборки агрегата или его ремонта по техническому состоянию.

При этом наиболее полному использованию ресурса деталей и сопряжений и повышению эффективности использования транспортно-технологических машин в целом, способствует внедрение централизованного ремонта по техническому состоянию (ЦРТС) составных частей специальной нефтепромысловой техники в практику работы ЦСПР, наряду с повышением технологических возможностей ремонтных предприятий, степени их гибкости и адаптивности.

Поэтому необходимо отметить актуальность исследований, направленных на разработку научно-практических рекомендаций по формированию высокоэффективных гибких технологий управления технологическими процессами ремонта агрегатов и систем транспортной техники.

Схема технологического процесса ЦРТС основана на принципах серийного производства и характеризуется широким использованием типовых технологических процессов. Ее суть состоит в том, что каждому агрегату по результатам предремонтного диагностирования, которое может проводиться перед его отправкой в ремонт (до снятия с шасси) либо при его приемке в ремонт (на испытательном стенде), назначается один из заранее разработанных технологических маршрутов типового технологического процесса ремонта.

Однако даже введение многоступенчатой системы определения технического состояния и корректировки объема и номенклатуры ремонтных работ не позволяют эффективно использовать достоинства оргструктуры ЦРТС по ряду причин, к которым можно отнести следующее [4].

1. Многопараметрический характер статистической информации, необходимой для формирования рациональной технологической системы ЦРТС.

2. Отсутствие необходимой гибкости при формировании технологических процессов ЦРТС в зависимости от технического состояния объекта ремонта, даже при наличии фиксированных статистических данных.

3. Отсутствие программных продуктов для непрерывного мониторинга за техническим состоянием ремонтируемых в системе ЦРТС изделий.

4. Отсутствие методических разработок по использованию существующих методов и средств технического диагностирования для формирования эффективных технологий ЦРТС агрегатов автотракторной техники.

5. Отсутствие системы подготовки квалифицированных кадров мастеров-диагностов для предприятий, выполняющих ЦРТС агрегатов автомобилей.

Проведенный анализ состояния вопроса исследований позволил сделать вывод о необходимости формирования нового методического подхода для решения задач оптимизации числа и состава технологических маршрутов ремонта (комплексов ремонтных работ).

## Список литературы

1. Дехтеринский, Л.В. Ремонт автомобилей и общие закономерности, определяющие эффективность его применения / Л.В. Дехтеринский, В.А. Зорин // Проблемы промышленного ремонта автомобилей и дорожных машин – М.: МАДИ, 1996. – с. 116-121.
2. Карагодин, В.И. Использование информационных технологий при централизованном ремонте автомобильных двигателей по техническому состоянию / В.И. Карагодин, В.Н. Красовский, С.А. Скрипников // Проблемы создания информационных технологий. – Минск: МАИТ, 1999. – С. 81-90.
3. Красовский, В.Н. Централизованный ремонт по техническому состоянию агрегатов автомобилей и специальной нефтегазопромысловой техники фирмами-изготовителями / В.Н. Красовский. – Тюмень: Вектор-Бук, 2009. – 164 с.
4. Попцов, В.В. Применение технологий централизованного ремонта агрегатов автомобилей по техническому состоянию в условиях мелкосерийного производства: дисс. ... канд. техн. наук / Попцов Виктор Вадимович. – Тюмень, 2002. – 153 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА ФАБРИЧНАЯ-МАКСИМА ГОРЬКОГО-СОВЕТСКАЯ

*М.М. Тишин, И.А. Анисимов*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Участок УДС в районе улиц Советской – Максима Горького – Фабричной находится в центре города Тюмени и имеет ряд недостатков, ухудшающих его характеристики такие как:

- скорость движения по участку;
- пропускную способность;
- количество ДТП на участке [1].

На пересечении улиц Советской – М. Горького – Фабричной действует схема движения, представленная на рис. 1.

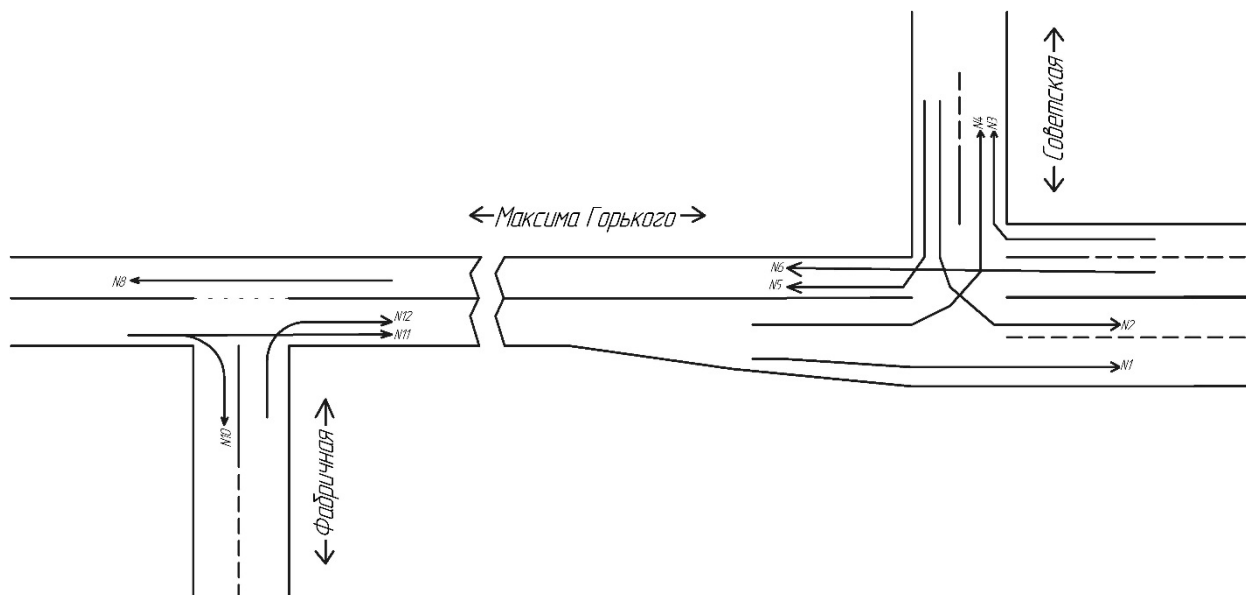


Рис. 1. Схема движения на участке УДС действующая на данный момент

Для совершенствования организации движения на данном участке УДС предлагается произвести следующие мероприятия [2]:

- Установить новые светофоры Т.1 и П.1 на пересечении улиц М. Горького – Фабричной в позиции №6 и №7 (представлено на рис. 2)
- Демонтировать светофор № 3 и установить его на место № 5 на пересечении улиц Максима Горького – Фабричной (рис. 1.2)
- После установки светофора изменить схему движения для разрешения левых поворота на пересечении улиц Максима Горького и Фабричной. (рис. 3)

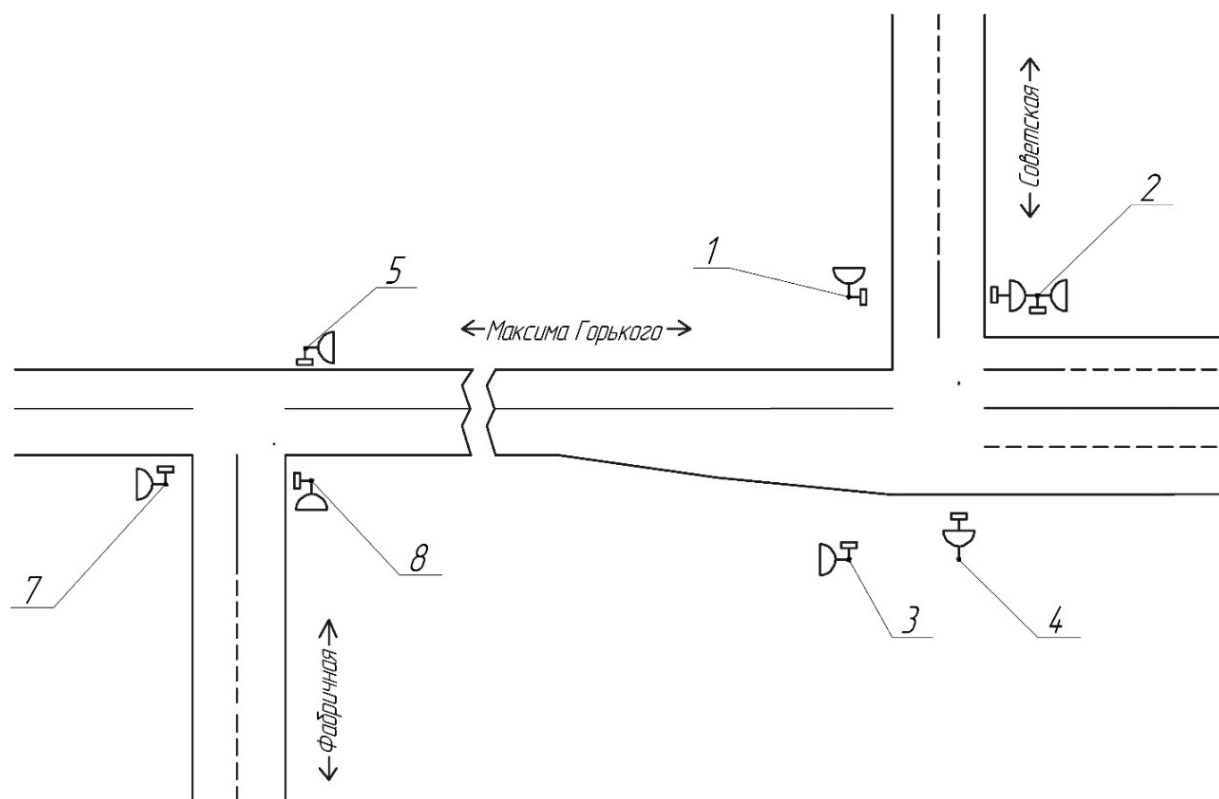


Рис. 2. Позиции светофоров

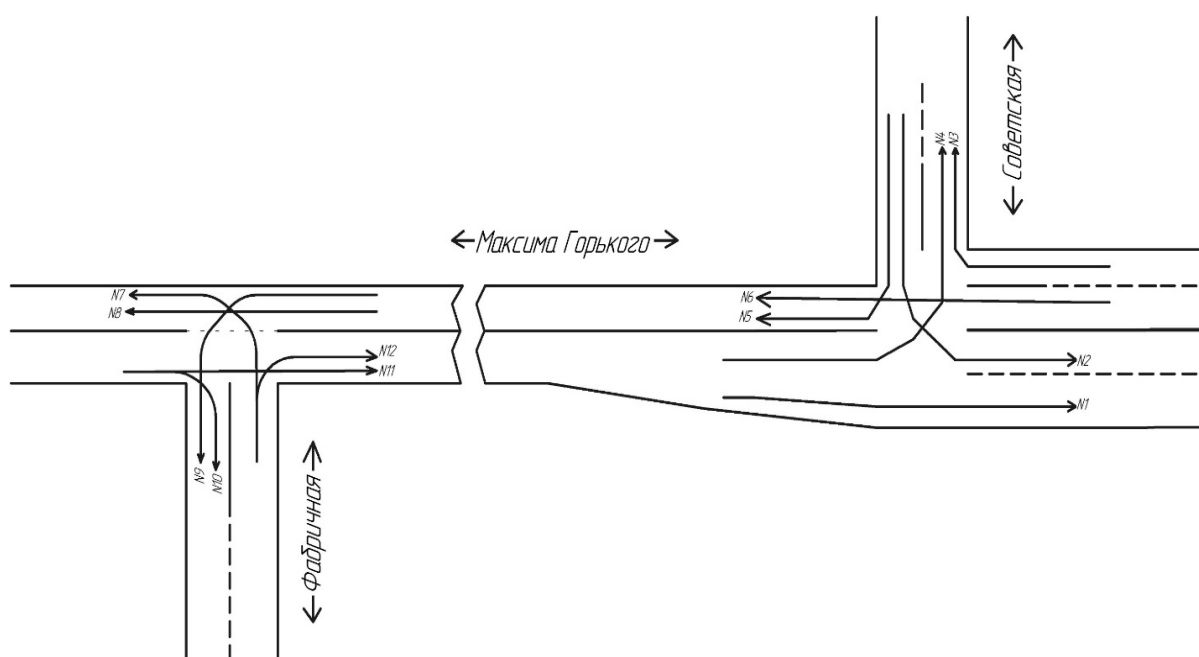


Рис. 3. Проектируемая схема движения

### Расчет цикла светофорного регулирования

На рис. 4, 5 и 6, показаны схемы разъезда автомобилей в I, II и III фазе соответственно.

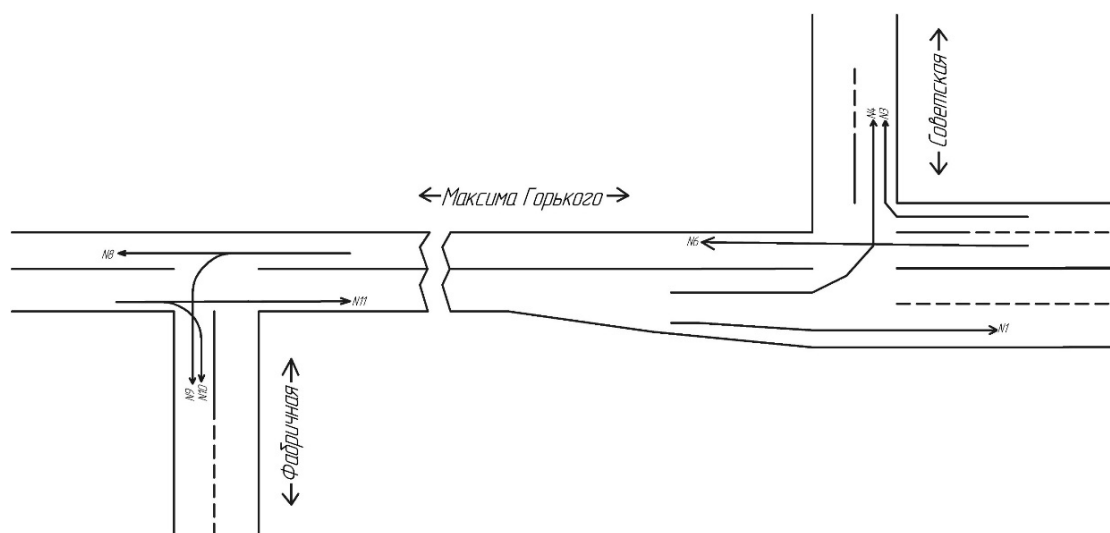


Рис. 4. Фаза 1

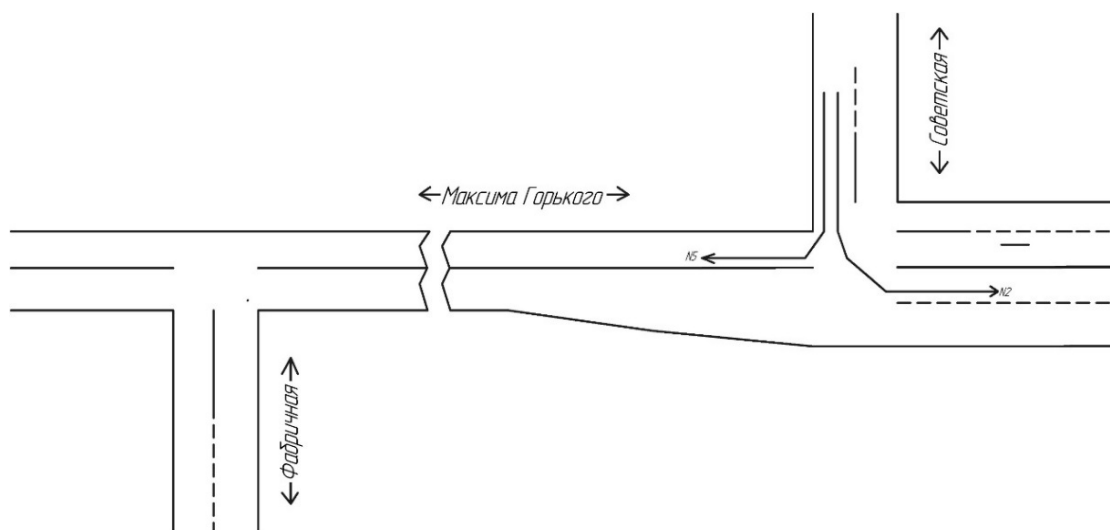


Рис. 5. Фаза 2

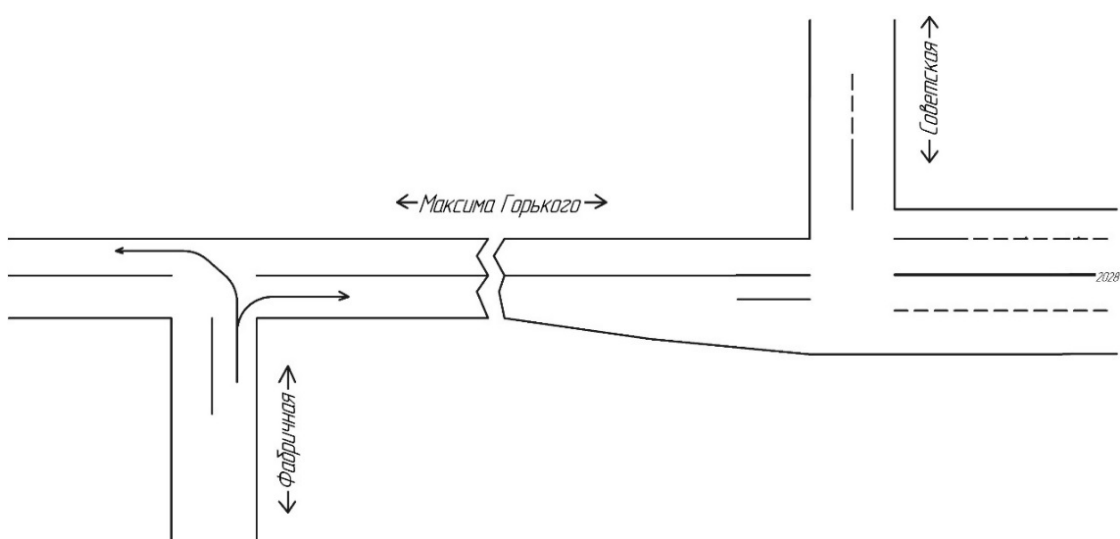


Рис. 6. Фаза 3

Таблица 1

Эффективная длительность основных фаз и показателя  $T_{\text{пш}}$   
в зависимости от периода года [3]

| номер фазы | основной такт | промежуточный такт |
|------------|---------------|--------------------|
|            | весна         |                    |
| I          | 10,57         | 8,33               |
| II         | 20,82         |                    |
| III        | 21,43         |                    |
| I          | 10,57         |                    |
| II         | 20,82         |                    |
| III        | 21,43         |                    |

Таблица 2

Режимы светофорной сигнализации [4]

| Номер фазы регулирования | Цвет сигнала светофора и его продолжительность горения в такте регулирования, с |         |       |        |         | Длительность цикла регулирования, с |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|--------|---------|-------------------------------------|
|                          | зел                                                                             | зел/мг  | желт  | красн  | кр/желт |                                     |
| I                        | зел                                                                             | зел/мг  | желт  | красн  | кр/желт | 61,16                               |
|                          | 10,57                                                                           | 3       | 4,33  | 42,25  | 3       |                                     |
| II                       | зел                                                                             | зел/мг  | желт  | красн  | кр/желт | 61,16                               |
|                          | 20,82                                                                           | 3       | 4,33  | 32     | 3       |                                     |
| III                      | красн                                                                           | кр/желт | зел   | зел/мг | желт    | 61,16                               |
|                          | 31,39                                                                           | 3       | 21,43 | 3      | 4,33    |                                     |

Таблица 3

Результаты моделирования в программе PTV Vissim [5]

| Параметр                        | Текущее состояние | После внесения изменений | Абсолютное отклонение | Относительное отклонение |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Время задержки (ср.) (сек)      | 215,86            | 203,69                   | -12,17                | -6%                      |
| Скорость (ср.) (км/ч)           | 4,34              | 4,53                     | 0,19                  | 4%                       |
| Время задержки стоя (ср.) (сек) | 168,44            | 138,77                   | -29,67                | -18%                     |
| Время в пути (всего) (сек)      | 348981            | 382552                   | 33571                 | 10%                      |
| Время задержки (всего) (сек)    | 314943            | 344438                   | 29495                 | 9%                       |
| Пропускная способность          | 91                | 108                      | 17                    | 19%                      |
| Не вошло ТС:                    | 1505              | 1419                     | -86                   | -6%                      |

Установка светофоров на пересечении улиц Максима Горького и Фабричной [6]:

- снизит риск ДТП;
- увеличит пропускную способность данного участка УДС;
- повысит его транспортную привлекательность;



- внедряемые улучшения окупятся в короткий срок;
- снизится количество выбросов вредных веществ на данном участке в связи с сокращением времени нахождения ТС на данном перекрестке.

### Список литературы

1. Госавтоинспекция: официальный сайт Госавтоинспекции [Электронный ресурс] / Аварийность – Режим доступа: <http://www.gibdd.ru/r/72/news/>
2. Организация движения [Текст]: учеб. Пособие / П.А. Воля.- Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. - 203 с.
3. Эртман С.А., Эртман Ю.А. «Методические указания для выполнения курсовой работы студентов всех форм обучения специальности 190702 «Организация и безопасность движения (Автомобильный транспорт)» [Текст]:.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – 22 с.
4. Немирович Я.Е., Анисимов И.А. Обоснование применения технических средств регулирования дорожного движения на пешеходных переходах. В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию со дня основания Тюменского индустриального института. ответственный редактор: В. И. Бауэр. Тюмень, 2013. С. 215-224.
5. Немирович Я.Е., Анисимов И.А. Обоснование применения технических средств организации дорожного движения на пешеходных переходах. В сборнике: Организация и безопасность дорожного движения материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. ответственный редактор: В.И. Бауэр. Тюмень, 2014. С. 118-123.
6. Сидоренко А.О., Анисимов И.А. Влияние скорости транспортных средств на безопасность пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах. В сборнике: ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием). Тюмень, 2014. С. 253-255.

УДК 656.13

## **РАЗРАБОТКА ПЕРЕДВИЖНОЙ РЕМОНТНОЙ МАСТЕРСКОЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

*Н.М. Филькин, В.В. Хрушков*

*Ижевск, Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашникова*

Разработанная полезная модель ремонтной мастерской для нефтяной и газовой отраслей [1] относится к области транспортных средств, оборудованных под мастерские, которая может быть использована для

транспортировки персонала и оборудования, а также в ходе проведения ремонтных работ на объектах, расположенных вдали от стационарных ремонтных мастерских.

Известна конструкция передвижной мастерской (патент RU 32053, МПК В60Р3/14, опубликовано 10.09.2003 г.), содержащая базовый автомобиль с двигателем, карданным валом отбора мощности, на раме автомобиля установлен фургон с технологическим оборудованием, отличающаяся тем, что в составе технологического оборудования использован токарный станок, установленный вдоль продольной оси автомобиля и закрепленный фундаментными болтами, ввинченными в резьбовые вварыши в раме автомобиля, а привод станка осуществлен от двигателя автомобиля через шкив на хвостовике карданного вала ременной передачей с возможностью включения станка в работу механизмом приводного ремня. Недостатком данной передвижной мастерской является то, что кузов-фургон выполнен в виде несъемного элемента.

Известна конструкция мобильной мастерской (патент на полезную модель RU 117369, МПК В60Р3/14, опубликовано 27.06.2012), содержащая кузов-фургон с боковыми и торцевыми стенками, крышей и полом, установленный на несущей раме, которая закреплена на раме шасси транспортного средства, при этом кузов-фургон оборудован спальными местами и производственной зоной, в котором размещено оборудование для слесарно-газосварочных работ, грузоподъемное оборудование, наборы инструмента, шкаф для инструмента, оборудование для замены смазочных материалов, электросиловая установка для обеспечения работы электрооборудования, отличающаяся тем, что кузов-фургон является съемным и имеет автономную систему погрузки и разгрузки, двойные стенки пола кузова-фургона, между которыми в отдельных контейнерах установлены генератор и электрический шкаф, кузов-фургон перегородками разделен на зону отдыха, ремонтную зону и зону для перевозки и хранения запасных частей. Недостатком этой конструкции является то, что при снятии фургона, базовое шасси остается пустым, не имея кузова. На базовом шасси отсутствует кран-манипулятор.

Задачей разработанной полезной модели [1] является расширение технологических возможностей базового шасси, за счет создания дополнительного кузова, закрепленного на раме шасси транспортного средства и оборудованного краном – манипулятором.

Разработанная полезная модель поясняется чертежами: рис. 1 – схема передвижной ремонтной мастерской (общий вид); рис. 2 – схема передвижной ремонтной мастерской без съемной крыши; рис. 3 – схема погрузки агрегата внутрь кузова-фургона; рис. 4 – схема окончания разгрузки кузова-фургона с транспортного средства на землю; рис. 5 – схема расположения оборудования в кузове-фургоне.

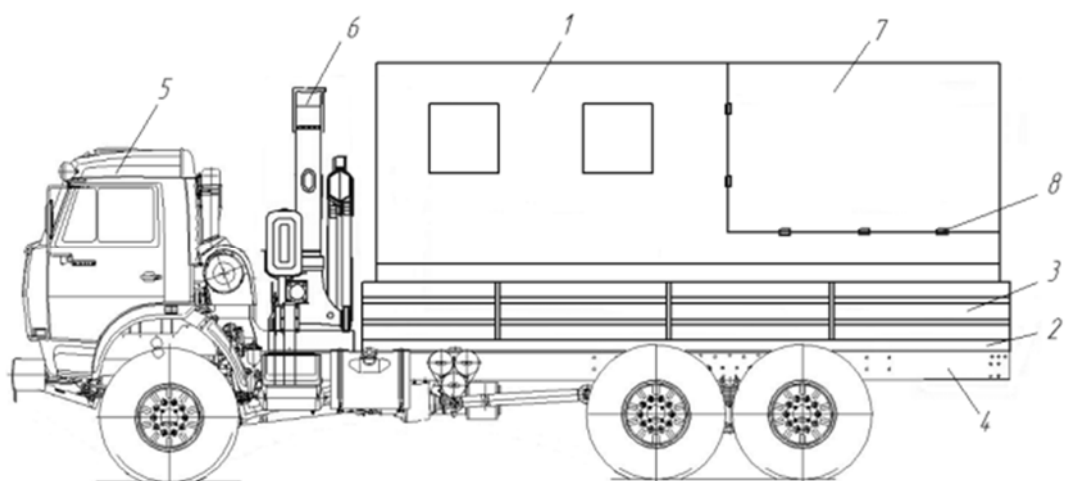


Рис. 1. Схема передвижной ремонтной мастерской (общий вид)

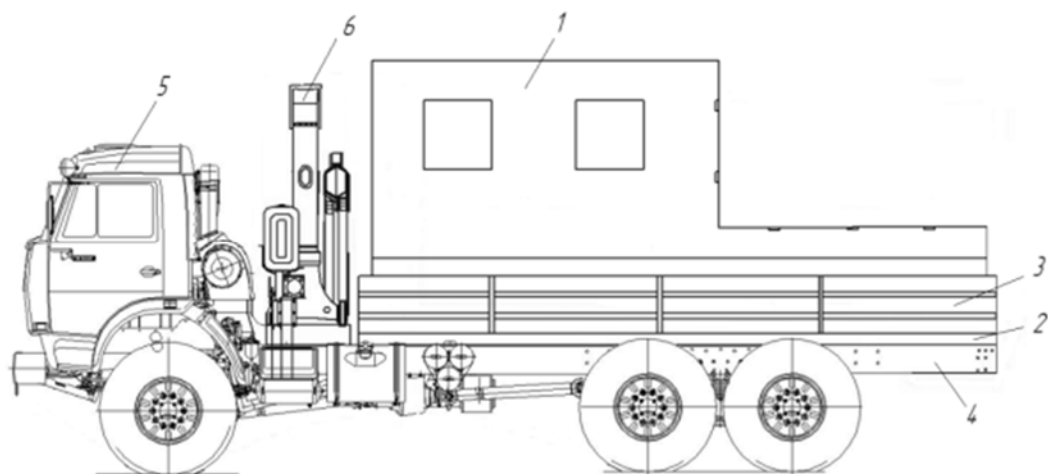


Рис. 2. Схема передвижной ремонтной мастерской без съемной крыши

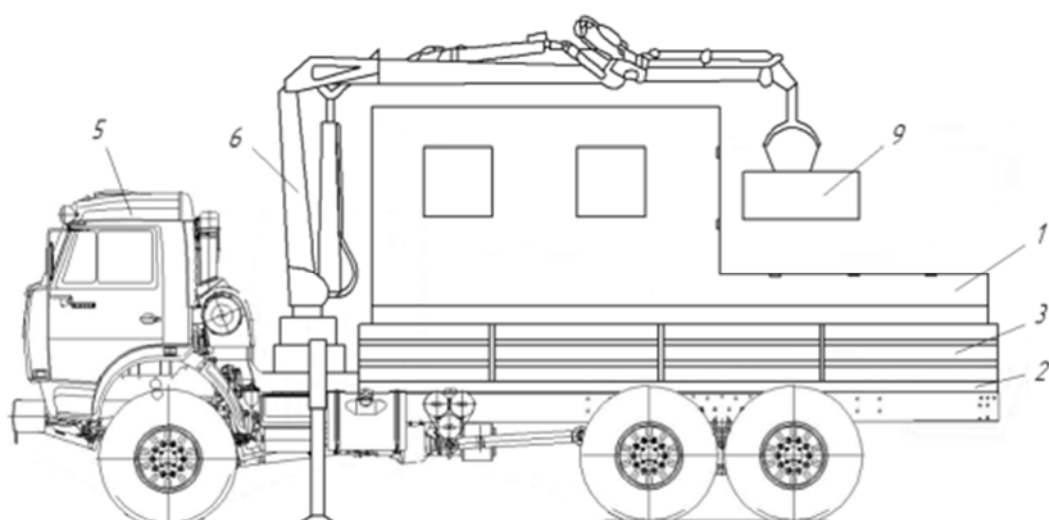


Рис. 3. Схема погрузки агрегата внутрь кузова-фургона

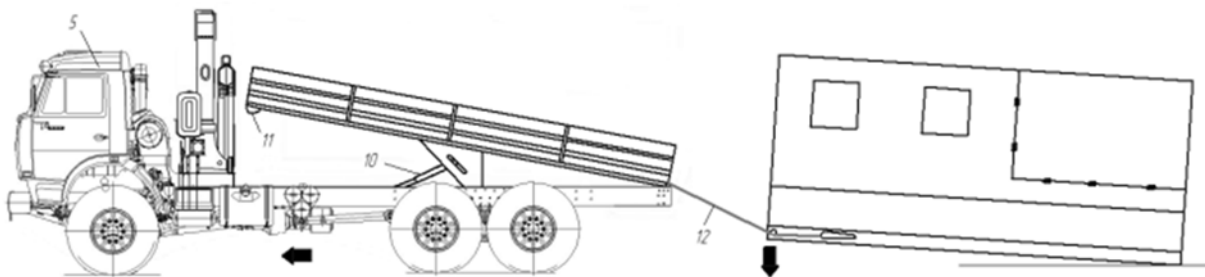


Рис. 4. Схема окончания разгрузки кузова-фургона с транспортного *средства на землю*

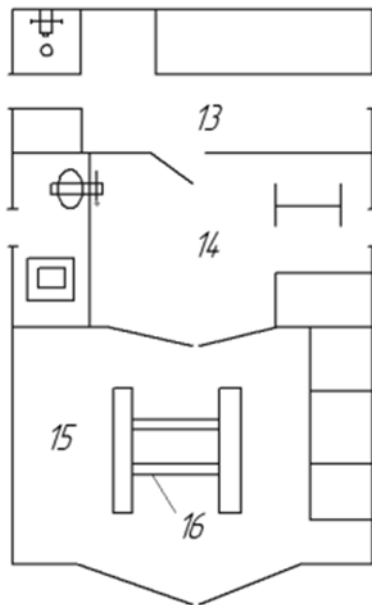


Рис. 5. Схема расположения оборудования в кузове-фургоне

Кузов-фургон 1 установлен на несущей раме 2, с бортами 3, закрепленной на раме 4 шасси транспортного средства 5. На раме 4 шасси транспортного средства установлен кран-манипулятор 6. В кузове-фургоне 1 часть крыши 7 съемная, закрепляется она с помощью крепления 8. Съемная крыша 7 дает возможность опустить ремонтируемый агрегат 9 в кузов-фургон 1. Между несущей рамой 2 и рамой 4, установлен гидроцилиндр 10. На несущей раме 2 установлена лебедка 11 с тросом 12. Кузов-фургон 1 разделен на зону отдыха 13, ремонтную зону 14, со всем необходимым оборудованием, и зону для ремонта крупногабаритных частей 15. В зоне для ремонта крупногабаритных частей 15 установлен стенд 16 для ремонта соответствующего оборудования.

Передвижная ремонтная мастерская работает следующим образом. На грузовых автомобилях или других самоходных шасси 5 ремонтная мастерская доставляется к месту назначения, производится разгрузка (погрузка) кузова-фургона 1. Для операции разгрузки гидроцилиндр 11 поднимает несущую раму 2, с бортами 3, и кузовом-фургоном 1. В определенный мо-

мент включается лебедка 11 и трос 12 плавно опускает кузов-фургон 1 на землю. После касания нижней части кузова-фургона 3 о землю, автомобиль 5 отъезжает, что дает полное опускание кузова-фургона 1 на землю. В завершении операции трос 12 отцепляется от кузова-фургона 1. При погрузке все операции выполняются в обратном порядке.

Кузов-фургон 1 можно не опускать на землю, чтобы отремонтировать необходимый агрегат. Для этого снимаем съемную крышу 7 с кузова-фургона 1. С помощью крана-манипулятора 6 в зону для ремонта крупногабаритных частей 15 можно подавать агрегат 9, который устанавливается на стенд 16 для ремонта соответствующего агрегата и проводим необходимые работы.

Передвижная ремонтная мастерская со съемным кузовом-фургоном позволяет более рационально использовать средство доставки (шасси транспортного средства), повысить автономность и технологические возможности эксплуатации передвижной ремонтной мастерской.

Положительный эффект достигается путем применения крана-манипулятора на базовом шасси транспортного средства, съемного кузова-фургона, применением на базовом шасси транспортного средства бортов, что позволяет, при снятии кузова-фургона, рационально использовать базовое шасси транспортного средства для других целей. Съемная крыша в кузове-фургоне позволяет ремонтировать крупногабаритные агрегаты прямо внутри кузова-фургона, находящегося на шасси транспортного средства.

#### **Список литературы**

1. Хрушков В.В., Филькин Н.М., Мкртчян А.Ф. Передвижная ремонтная мастерская// Патент на полезную модель 150294. Заявка № 2014125609. Приоритет полезной модели 24.06.2014 г. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 29.12.2014 г.

УДК 625.7/.8

### **ПРОБЛЕМЫ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЗВИТИЯ**

*К.И. Фирсова, Е.В. Пономаренко, М.В. Яценко  
Барнаул, Алтайский государственный университет*

Нефть является одним из важнейших полезных ископаемых на Земле, так как из неё получают наиболее используемые в настоящее время виды топлива. Обычно нефть образуется вместе с другим, не менее важным полезным ископаемым – природным газом. Поэтому очень часто эти два вида полезных ископаемых добываются в одном и том же месте [1].

Алтайский край представляет собой перспективный регион для развития промышленности, сельского хозяйства. На территории субъекта обна-

ружены и частично обрабатывается ряд месторождений полезных ископаемых. Однако Алтайский край не является нефтедобывающим. Нефтегазонасность региона целенаправленно начали изучать только с 2002 года. Тогда с помощью геохимических съемок на снегу - в толще снега в течение зимы накапливаются углеводороды - было выявлено несколько потенциальных очагов скопления полезных ископаемых. Анализы, проводимые Институтом геологии нефти и газа Сибирского отделения РАН, в качестве приоритетных участков определили Панкрушихинский, Тальменский, Залесовский и Шипуновский районы края. Позже в 2006 – 2007 годах наиболее перспективным районом, где может залежать нефть, был признан Панкрушихинский участок. Он граничит с Новосибирской областью и под ним проходит западносибирская плита, на которой в соседнем сибирском регионе уже успешно добывают около 1 млн тонн нефти в год. Проводившее на Панкрушихинском участке изыскания ОАО «Сибнефтегеофизика» дало положительное заключение по дальнейшей разведке скопления углеводородов [2].

Однако для развития исследований возможных месторождений нефти и газа в районах должна быть развита соответствующая инфраструктура, в том числе и дорожно-транспортная. По территориям Шипуновского и Тальменского районов проходят федеральные дороги: А–322 Барнаул – Рубцовск-гр. р.Казахстан, Р – 256 «Чуйский тракт» (от гр.Новосибирской области до гр.р.Алтай). На территориях Панкрушихинского и Залесовского районов проходят только дороги регионального и местного значений (3 – 5 технических категорий).

Анализируя основные показатели, в качестве которых были выбраны общая численность населения района, площадь района и плотность дорог с твердым покрытием, были сделаны выводы о том, что наибольшей численностью населения отличается Тальменский район, наименьшей – Панкрушихинский. Наибольшей площадью обладает Шипуновский, наименьшей – Панкрушихинский.

При рассмотрении уровня дорожной инфраструктуры одним из важнейших показателей является плотность дорог с твердым покрытием (км/тыс км<sup>2</sup>). Из четырех изучаемых районов данный показатель наивысший у Шипуновского района (105,25 км/тыс. км<sup>2</sup>), наименьший – у Тальменского района (78,31 км/тыс. км<sup>2</sup>). Также были проанализированы основные показатели аварийности. Абсолютное значение числа ДТП за 2014 год на территории района отмечен в Тальменском районе. Однако, как было замечено выше, этот район отличается более высокой численностью населения и площадью. С целью более объективного анализа был рассчитан риск возникновения ДТП (число ДТП/площадь территории района; число ДТП/количество населения (социальный риск); число ДТП/плотность дорог с твердым покрытием). По всем трем показателям наибольшие значения отмечены в Тальменском районе, наименьшие – в Панкрушихинском. Кроме того, в Тальменском, Шипуновском, Панкру-

шихинском отмечено снижение числа ДТП по сравнению с аналогичным показателем прошлого года. В Залесовском же районе отмечен рост ДТП на 53,3%. Снижение числа погибших в ДТП зафиксировано в Тальменском и Панкрушихинском районах. Количество раненых снизилось в 2014 году в Шипуновском и Панкрушихинском районах.

Таким образом, на территориях перспективных в области добычи газа и нефти районов отмечены некоторые недостатки дорожной инфраструктуры и низкий уровень безопасности дорожного движения. В наиболее перспективном районе – Панкрушихинском, очевиден недостаток качественных дорог. Основной дорогой в районе является отрезок автодороги Крутиха – Панкрушиха – Хабары – Славгород. С Новосибирской областью связь осуществляется только с помощью коротких местных дорог. Для освоения потенциала района необходимо строительство новых трасс и качественная реконструкция существующих.

Развитие добычи полезных ископаемых, в том числе нефти и газа, само по себе не будет способствовать развитию дорожной инфраструктуры и росту уровня безопасности дорожного движения. Поэтому перед началом освоения месторождений необходима подготовка района, повышение эффективности превентивных мер. Кроме того, важным аспектом является повышение эффективности работ дорожных служб, поскольку своевременная чистка дорог в зимнее время и организованное проведение дорожно-ремонтных работ в летнее необходимо при развитии промышленного потенциала района.

#### **Список литературы**

1. География [Электронный ресурс] URL: [geographyofrussia.com/neft-i-gaz/](http://geographyofrussia.com/neft-i-gaz/)
2. Банкфакс информационное агентство [Электронный ресурс] URL: <http://www.bankfax.ru/news/55996/>

УДК 656.11

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ С КРУГОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

*Р.Ф. Хайрулина, С.А. Эртман*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Ежегодно на дорогах города Тюмени увеличивается численность транспортных средств, что приводит к возникновению проблем обеспечения безопасности дорожного движения и является причиной скопления транспортных средств перед перекрестками, низкой скорости сообщения и, как следствие, возникновения аварийных ситуаций.

В виду сложившихся дорожных условий, транспортная сеть не в состоянии справиться с повышенной нагрузкой, что приводит к увеличению времени ожидания проезда перекрестка.

Одним из наиболее затруднительных участков дорожной сети города Тюмени является регулируемый перекресток с круговым движением – на пересечении улиц Мельникайте и 50 лет Октября (рис. 1).



Рис.1. Перекресток ул. Мельникайте – ул. 50 лет Октября

В рамках исследовательской работы был проведен анализ данного объекта транспортной инфраструктуры при использовании элементов методики анализа аварийных ситуаций [5], в результате чего были выявлены следующие проблемы:

- низкая пропускная способность перекрестка;
- длительное время ожидания разрешающего сигнала светофора;
- кольцо специфической геометрической формы, а именно кольцо имеет форму вытянутого круга с малыми радиусами закругления со сторон ул. Мельникайте;
- высокий уровень ДТП с минимальным ущербом;
- длительное время перемещения пешеходов по проезжей части.

Для оптимизации работы транспортной сети необходимо предпринимать меры, нацеленные на решение вышеперечисленных проблем. Одной из доступных мер решения данных проблем является оптимизация режимов работы светофорных объектов, что, гипотетически, позволит увеличить пропускную способность перекрестка и сократит время ожидания участников дорожного движения [1, 2].

Для увеличения пропускной способности дороги можно предложить реконструкцию участка дорожной сети с целью изменения внутреннего диаметра островка развязки, так как скорость автомобиля на перекрестке с кольцевым движением напрямую зависит от следующих факторов [2, 4]:



- диаметр кольца;
- ширина проезжей части;
- радиус примыкания дорог к кольцу;
- общая планировка развязки.

Ввиду того, что кольцо имеет овальную форму, при въезде на него длинномерные транспортные средства создают помехи другим участникам дорожного движения, так как при повороте габаритные размеры выходят за пределы отведенной полосы движения (рис.2).

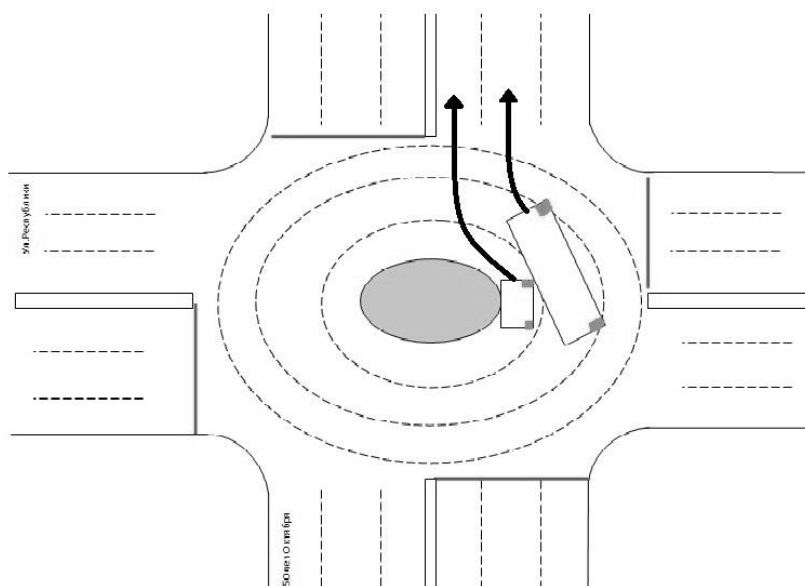


Рис.2. Схема возникновения аварийной ситуации

Большой радиус закруглений полос движения позволит нам избежать возникновения аварийных ситуаций и уменьшит количество заторов (рис.3).



Рис.3. ДТП на пересечении улиц Мельникайте – 50 лет Октября, произошедшее по причине несоблюдения рядности длинномерного транспортного средства [3]

Одним из эффективных методов улучшения дорожной ситуации является строительство двухуровневой развязки на данном объекте, с организацией режима непрерывного движения по улице Мельникайте. Организация новой схемы движения на данном перекрестке позволит сократить время проезда автомобилей и, как следствие, снизит аварийность, а также увеличит пропускную способность. В свою очередь, передвижение пешеходов, в данном случае, обеспечится путем внедрения надземных, либо подземных пешеходных переходов, которые позволят сократить время перехода через перекресток.

Наглядным примером организации подобной двухуровневой развязки является путепровод в городе Казань на пересечении проспектов Ямашева и Амирхана (рис.4).



Рис.4. Путепровод г.Казань по ул. Ямашева-Амирхана

Данная схема уличной дорожной сети позволила решить ряд проблем, которые возникали ранее: обеспечена безопасность участникам дорожного движения, улучшена ситуация на дорогах и удовлетворение потребностей пользователей автодорог.

В результате проведенных исследований были предложены несколько схем оптимизации движения транспортной сети, которые смогут улучшить состояние дорожной ситуации. На наш субъективный взгляд, заимствование чужого положительного опыта, поможет усовершенствовать имеющуюся транспортную обстановку.

#### Список литературы

1. Писцов А.В., Эртман Ю.А., Резник Л.Г. Приспособленность регулируемых пересечений к удовлетворению транспортного спроса в переменных условиях городского движения // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 207-209.
2. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. -Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.- Кавк. регион», 2011.- 1082 с.

3. Официальный сайт ГИБДД Тюменской области [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <http://www.gibdd.ru/r/72/>.
4. Маркуц В.М. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц. Часть 1: интенсивность и безопасность движения автомобилей, пропускная способность транспортных пересечений
5. Шабалин И.В., Эртман С.А., Эртман Ю.А. Оценка транспортной опасности перекрестка как основа для анализа эффективности схемы организации дорожного движения // Сб. «Проблемы функционирования систем транспорта» – Матер. Всерос. научно-практ. Конф. студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием). – Тюмень, – 2014. – С. 368-373.

УДК 662.767.1

## **СОЗДАНИЕ «ГОЛУБОГО КОРИДОРА» НА УЧАСТКЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ МЕЖДУ Г. ТЮМЕНЬ И Г. СУРГУТ**

*Е.М. Чикишев, В.А. Петряков*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В последнее время в нашей стране на государственном уровне всё чаще понимается вопрос применения альтернативных источников энергии на автомобильном транспорте. В частности, наиболее перспективным является природный газ (метан). Подтверждением этому служит ряд принятых документов, среди которых:

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (ред. от 29.12.2014) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

2. Поручение Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации И. И. Сечина № ИС-П9-5878 от 25 августа 2010 г. о создании постоянно действующей рабочей группы для выработки предложений по увеличению спроса на сжиженный углеводородный и пригодный газ в качестве моторного топлива;

3. Поручение Президента РФ № пр 1923 от 27.06.2011 г. по организации поэтапной замены муниципального автотранспорта автомобилями на газомоторном топливе и расширению сети газовых заправок;

4. Распоряжение Председателя Правительства РФ Д. А. Медведева № 767-р «О регулировании отношений в сфере использования газового моторного топлива» (от 13 мая 2013 г.), предусматривающее расширение применения именно природного газа как моторного топлива. В данном распоряжении указывается о задачах значительного увеличения парка автомобилей, работающих на данном виде топлива, создании благоприятных условий для установки на автомобили газобаллонной аппа-

ратуры и строительстве автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС);

5. Комплексный план мероприятий по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива от 14 ноября 2013 г. № 6819п-П9. Документ утвержден Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации А. В. Дворковичем.

Природный газ (метан) на автомобильном транспорте используется в сжатом (компримированном) или сжиженном состоянии. В данной работе речь пойдет об использовании компримированного природного газа (КПГ).

Вопросам применения природного газа на автомобильном транспорте посвящён ряд работ [2, 6, 9, 13-16, 18-20, 29].

Проведя анализ предыдущих исследований можно отметить, что одним из сдерживающих факторов роста парка газобаллонных автомобилей, работающих на природном газе является слаборазвитая сеть АГНКС [10, 22, 23, 27].

Однако, согласно программе строительства АГНКС и КриоАЗС (автозаправочная станция, использующая сжиженный природный газ по криогенной системе) с целью расширения использования газомоторного топлива (принятого ОАО «Газпром» и ООО «Газпром газомоторное топливо» в 2013 г.) на территории нашей страны до 2030 г. планируется строительство 2158 АГНКС и 462 КриоАЗС.

А в компании ОАО «НК «Роснефть»» одним из трёх основных приоритетов маркетинговой стратегии газового бизнеса является активное участие в федеральных программах развития рынка газомоторного топлива, включая создание корпоративной сети АГНКС [24].

Таким образом, предполагается, что в ближайшее время в различных регионах страны появится значительное количество АГНКС. Проводя анализ расположения уже построенных АГНКС общего пользования можно отметить, что строятся они, как правило, на выездах из городов и вдоль крупных автомобильных магистралей. Такое расположение можно объяснить техникой безопасности [12] и созданием так называемых «голубых коридоров», связывающих крупные населённые пункты.

Голубой коридор – название международного проекта, который предусматривает организацию автомобильного пассажирского и грузового автомобильного сообщения с преимущественным использованием природного газа в качестве моторного топлива вместо традиционных видов моторного топлива: бензина и дизельного топлива. Идею проекта «Голубой коридор» в 1999 году предложил Неправительственный экологический фонд им. В. И. Вернадского. ОАО «Газпром» и Национальная газомоторная ассоциация поддержали идею и приняло самое активное участие в подготовке материалов. Под эгидой Рабочей группы по газу и Комитета по внутреннему транспорту ЕЭК ООН была создана Целевая международная экспертная группа [11, 28]. Идея направлена на сниже-

ние вредного воздействия отработавших газов автомобилей на окружающую среду и людей. Суть проекта – создание инфраструктуры по заправке, обслуживанию и ремонту газобаллонных автомобилей, работающих на природном газе. То есть построить такое количество АГНКС, чтобы можно было ездить между населёнными пунктами и странами исключительно на газовом топливе.

На сегодняшний день страны Европейского Союза и Восточной Европы строят огромное количество АГНКС. По данным сайта национальной газомоторной ассоциации на 2 квартал 2014 г. лидерами являются Италия (более 1000 АГНКС), Германия (более 900 АГНКС) и Франция (более 300). К примеру, в России их чуть более 250. Ежегодно, как российскими, так и европейскими странами проводятся международные автопробеги, целью которых является популяризация газомоторного топлива.

Преимущественно сеть заправок природным газом распространена в следующих федеральных округах России (реальное число АГНКС может незначительно отличаться от представленных данных): 1. Приволжский ФО – 62; 2. Центральный ФО – 54; 3. Уральский ФО – 42; 4. Южный ФО – 35; 5. Северо-Кавказский ФО – 24.

С технической точки зрения малое количество АГНКС в остальных Федеральных Округах можно объяснить несколькими причинами, среди которых основными являются:

1. слабая разветвлённость (или полное отсутствие) газопроводов;
2. значительные по протяжённости территории данных ФО;
3. проблематичность использования ГБА на КПП в условиях низких температур воздуха. Зона холодного климата занимает самую большую часть территории нашей страны – около 70 % (северные части России, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток), следовательно, на большей части преобладают низкие температуры окружающего воздуха. Однако, в ряде исследований [1, 5, 7, 8, 16, 17, 34] отмечено, что такие температуры воздуха хоть и влияют на изменение выходных параметров ГБА, но эксплуатация транспортных средств, при соответствующей подготовке, возможна.

К слову от Тюмени до Новосибирска (расстояние 1278 км, федеральная трасса Р402-Р254) нет ни одной АГНКС. А в Сибирском и Дальневосточном ФО можно в совокупности насчитать не более 20 АГНКС.

В исследованиях [10, 21-23, 26, 27, 30-32, 36] изучаются вопросы актуальности строительства АГНКС в российских регионах.

В данной работе на примере одного из участков автомобильной дороги в Уральском ФО рассматривается возможность строительства сети АГНКС. Объектом исследования выбрана дорога федерального значения Р404 на участке Тюмень – Сургут (протяжённость отрезка составляет 785 км). Данная трасса является единственной, которая соединяет Тюменскую область с ХМАО. Она проходит через Тобольск, Туртас, Уват и Салым.

Имеет подъезды к Пыть-Яху, Нефтеюганску и Сургуту. Конечным пунктом является г. Ханты-Мансийск.

На рассматриваемом участке существуют лишь две АГНКС, которые находятся соответственно в г. Тюмени (адрес Ялutorовский тракт, 12-й км) и г. Сургуте (район ГРС-1 по ул. Университетской).

Как было отмечено выше для строительства заправок природным газом одним из главных технических моментов является наличие газопровода. В непосредственной близости от рассматриваемого участка дороги проходит магистральный газопровод «Уренгой-Челябинск» («Комсомольское – Сургут – Челябинск» первая нитка и «Уренгой – Сургут – Челябинск» вторая нитка). На участке «Сургут – Тюмень» газопровод находится в зоне ответственности ООО «Газпром трансгаз Сургут», точнее его филиалов: Сургутского, Южно-Балыкского, Самсоновского, Демьянского, Туртасского, Тобольского, Яркового и Тюменского линейных производственных управлений магистральных газопроводов (ЛПУМГ) (рис. 1) [25]. В свою очередь ООО «Газпром трансгаз Сургут» является 100 % дочерним обществом ОАО «Газпром».



Рис. 1. Фрагмент схемы расположения ЛПУМГ в Тюменской области, ХМАО и ЯНАО

Можно предположить, что с учётом программы строительства АГНКС принятой в частности ОАО «Газпром» появление заправок метаном на участке дороги «Сургут – Тюмень» является делом времени. К тому же уже действующие АГНКС в данных городах и ряд экспериментальных исследований [4, 33] свидетельствуют о возможности эксплуатации ГБА, работающих на КПГ в низкотемпературных условиях.

В [22] отмечено, что ещё с конца 80-х годов АГНКС в нашей стране предполагалось размещать в основном вдоль автомагистралей на расстояниях друг от друга от 70 до 250 км. Частота размещения этих станций и их число были продиктованы протяженностью автомобильных трасс и минимальным пробегом газобаллонного автомобиля, составляющим примерно 250 км. В настоящее время в странах Европы эти расстояния ниже. К примеру, в Германии они составляют не более 50 км.

В данный момент строительство большого количества АГНКС по рассматриваемому участку дороги нецелесообразно ввиду их высокой стоимости. К примеру цена (на 2015 г.) одной АГНКС-250 полной комплектации составляет 20-25 млн. руб. плюс затраты на установку 10-15 % от стоимости компрессорной станции. Соответственно АГНКС-500 стоит в 2 раза дороже.

Таким образом предлагается на участке дороги «Тюмень – Сургут» строительство 4 АГНКС со следующим расположением:

1. г. Тобольск (рядом с пересечением трассы Р 404 и проспекта Менделеева). Расстояние от Тюмени до данной точки 245 км;
2. Демьянское (пересечение трассы Р 404 с поворотом на Демьянское). Расстояние от точки «Тобольск» до пункта «Демьянское» 188 км;
3. г. Пыть-Ях (поворот на Пыть-Ях в 6 км. от трассы Р 404). Расстояние от точки «Демьянское» до пункта «Пыть-Ях» 250 км;
4. г. Нефтеюганск (дорожная развязка рядом с ул. Мамонтовской). Расстояние от точки «Пыть-Ях» до пункта «Нефтеюганск» 60 км.

От пункта «Нефтеюганск» до АГНКС г. Сургута 68 км.

При размещении АГНКС также принимается во внимание то, что помимо транзитного транспорта на них будут заправляться и жители ближайшего населённого пункта.

Размещение АГНКС на данном участке дороги позволит осуществлять перевозки грузов и пассажиров автомобилями, работающими на природном газе, что значительно снизит затраты на топливо по всему маршруту следования. К тому же из-за большей экологичности метана по сравнению с традиционными моторными топливами [5, 18, 35], снизится количество выбросов вредных веществ с отработавшими газами (в том числе дымности [3, 4, 14, 17]) в окружающую среду.

## Список литературы

1. Анисимов И.А. Мультикритериальный анализ работы газодизельных автомобилей в условиях низких температур // Транспорт Урала. 2009. № 2. С. 103-104.

2. Анисимов И.А. Сравнительная оценка приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации при работе на различных видах топлива // Транспорт Урала. 2008. № 4. С. 90-91.
3. Анисимов И.А., Иванов А.С. Исследование экологических показателей газодизельных автомобилей при выполнении транспортной работы в низкотемпературных условиях эксплуатации // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2011. № 3. С. 61-64.
4. Анисимов И. А., Иванов А. С. Токсичность газодизельных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации // Транспорт Урала. 2010. №1(24). С. 83-86.
5. Анисимов И. А., Чикишев Е. М. Влияние низких температур воздуха на расход топлива и выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобилей, эксплуатирующихся на компримированном природном газе и бензине // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2010. № 5(53). С. 32-37.
6. Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Исследования приспособленности автомобилей, работающих на природном газе и бензине, к фактическим температурам воздуха // Газовая промышленность. 2014. № 2 (702). С. 82-85.
7. Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Комплексная оценка работы газобаллонных автомобилей в условиях низких температур воздуха // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2014. № 6 (87). С. 3-9.
8. Анисимов И. А., Чикишев Е. М. Сравнительная оценка приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации при работе на бензине, сжиженном нефтяном и компримированном природном газе по расходу топлива и выбросам вредных веществ // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2013. № 12 (81). С. 3-7.
9. Анисимов И.А., Чикишев Е.М., Иванов А.С. Оценка приспособленности газодизельных автомобилей методом конструктивных аналогий // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2014. № 11 (92). С. 13-18.
10. Бондаренко Е.В., Филиппов А.А., Фазуллин М.Р., Шайлин Р.Т. К вопросу необходимости развития сети метановых заправок в г. Оренбурге // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 4 (39). С. 15-23.
11. Газомоторный автотранспорт [Электронный ресурс]: <http://raritek-gba.ru/the-saravan-blue-corridor/> (дата обращения: 05.09.2015).
12. Гордиенко Д.М., Малкин В.Л., Ильичев В.В., Смирнов Е.В. Особенности пожарной опасности автозаправочных станций с наличием компримированного природного газа // Пожарная безопасность. 2015. № 1. С. 60-62.
13. Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика) // учебник для студентов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» (УМО) / М: Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком». 2012. 598 с.
14. Ерохов В.И. Газодизельная система питания нового поколения // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2013. № 9 (78). С. 15-23.
15. Ерохов В.И., Бондаренко Е.В. Экспериментальные исследования режимов работы автотранспортных средств в городских условиях эксплуатации // Вестник Оренбургского государственного университета. 2004. № 9. С. 144-147.
16. Зудов Г.Ю., Ишков А.М., Буслаева И.И. Опыт эксплуатации автобусов на компримированном природном газе в условиях низких температур // Автотранспортное предприятие. 2014. № 11. С. 44-46.
17. Иванов А.С., Анисимов И.А. Эффективность газодизельных АТС при их работе в низкотемпературных условиях // Автомобильная промышленность. 2011. № 9. С. 15-16.
18. Иванов А.С., Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Корректирование платы за выбросы вредных веществ с отработавшими газами газодизельными автомобилями в низкотемпературных условиях // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2013. № 12 (81). С. 17-21.



19. Куксанов В.Ф., Филиппов А.А., Дудченко О.В. Совершенствование эколого-экономических инструментов стимулирования внедрения газового моторного топлива на маршрутном транспорте (на примере г. Оренбурга) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 10. С. 99-106.
20. Люгай С.В., Евстифеев А.А., Тимофеев В.В., Балашов М.Л., Дрыгина Ю.Н. Сравнение экономических показателей при использовании жидкого моторного и газомоторных топлив // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 5 (35). С. 14-19.
21. Маленкина И.Ф., Пономарева А.А. Планирование антикризисных мер в производстве КПП // Газовая промышленность. 2010. № 10. С. 75-76.
22. Мкртычан Я.С. Основные принципы построения городской сети газоснабжения автотранспорта // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 3 (33). С. 10-14.
23. Мкртычан Я.С., Люгай С.В., Селиванов Д.В. Междугородная и международная системы газоснабжения автотранспорта // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 4 (34). С. 22-28.
24. Официальный сайт ОАО «НК «Роснефть»» [Электронный ресурс]: <http://www.rosneft.ru/Upstream/GasStrategy/> (дата обращения: 05.09.2015).
25. Официальный сайт ООО «Газпром трансгаз Сургут» [Электронный ресурс]: <http://surgut-tr.gazprom.ru/about/organization/> (дата обращения: 05.09.2015).
26. Пархоменко Г.Г. Анализ методов измерения массового расхода сжатого природного газа на АГНКС // Авто-газозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2012. № 6 (66). С. 3-9.
27. Певнев Н.Г., Банкет М.В., Бакунов А.С. Перспективы развития инфраструктуры использования КПП в Омске // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). С. 7-11.
28. Пронин Е.Н., Самсонов Р.О., Маленкина И.Ф. Международные транспортные коридоры с использованием природного газа – моторного топлива // Газовая промышленность. 2010. № 11. С. 8-9.
29. Теремякин П.Г. Определение циклового наполнения воздухом цилиндров газового двигателя // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 1 (19). С. 19-21.
30. Чикишев Е.М. Актуальность строительства автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в г. Тюмени // Междунар. науч.-техн. конф. «Транспорт и хранение углеводородного сырья». – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015.
31. Чикишев Е.М. К вопросу рационального размещения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в г. Тюмени // Новые технологии - нефтегазовому региону / отв. редактор О.А. Новоселов. 2015. С. 171-173.
32. Чикишев Е.М. Необходимость сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в г. Тюмени // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2015. № 9 (102).
33. Чикишев Е.М. Экономические и экологические аспекты эксплуатации транспортных средств на компримированном природном газе и бензине в условиях низких температур воздуха // Автотранспортное предприятие. 2010. № 1. С. 43-45.
34. Чикишев Е. М. Анисимов И. А. Влияние низких температур воздуха на энергетические и экологические параметры газобаллонных автомобилей // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 6 (30). С. 32-33.
35. Чикишев Е. М. Анисимов И. А. Методика расчёта массовых и удельных выбросов вредных веществ в отработавших газах двухтопливных автомобилей в низкотемпературных условиях эксплуатации // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2010. № 6 (54). С. 4-7.
36. Чикишев Е.М., Иванов А.С., Анисимов И.А. Перспективы использования природного газа и приборов его учёта на автомобильном транспорте // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2015. № 4 (97). С. 3-9.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНИ АГНКС НА АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ Г. ТЮМЕНИ

*А.А. Чикишева*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Одним из самых востребованных видов пассажирского транспорта, как в мире, так и России является автобус. Общественный пассажирский транспорт играет ведущую роль в городском, пригородном и междугородном сообщениях.

К примеру, в Тюменской области автобусами выполняется более 80 % от общего объема пассажирских перевозок. Автобусы, эксплуатирующиеся на регулярных маршрутах в настоящее время связывают 1120 населенных пунктов юга области [13].

Городской общественный пассажирский транспорт, осуществляющий перевозку пассажиров по регулярным маршрутам в г. Тюмени, представлен только автобусами различной вместимости и маршрутными такси. По данным МКУ «Тюменьгортранс» в настоящее время в городе и пригороде организацией перевозок занимаются следующие предприятия [9]:

1. ОАО «ТПАТП №1». Маршруты: 1, 2, 7м, 7п, 9, 10, 14, 15, 18, 21, 25, 33, 38, 39, 46, 53, 55, 59, 60, 63, 70, 85, 96, 97, 98, 99, 100, 100 к, 119, 129, 134, 140, 141, 142, 145, 146, 149, 151, 152, 153, 158.

2. ОАО «ТПАТП №2». Маршруты: 8, 13, 17, 19, 20, 22, 23, 32, 36, 40, 47, 48, 49, 54, 78, 86, 88, 121, 124, 128 к, 135, 138, 143, 144, 147, 154, 156.

3. ООО «АТП Отечество». Маршруты: 3, 6, 28, 29, 34, 79, 84, 93, 135к.

4. ООО «Караван-Авто». Маршруты: 37, 51, 56, 69, 77, 91, 157.

5. ООО «АвтоСевер». Маршруты: 11, 27, 30, 120, 128, 148, 155.

6. ООО «Автолинии». 12, 24, 26, 31, 43, 76.

7. ООО «Тюменьавтолайн». Маршруты: 62, 66, 71, 80, 83.

8. ООО УПК «Автомобилист». Маршруты: 52, 57, 68, 97.

9. ООО «Авто-Люкс». Маршруты: 4, 65, 89.

10. Простое товарищество: ООО «Партнер-Авто», ИП Сериков Д.Г., ИП Мельник С.П., ИП Шулепов С.М. Маршруты: 45, 64, 129.

11. ООО «Транс-Сервис». Маршруты: 5, 44, 50.

12. Простое товарищество: ООО «Партнер-Авто», ИП Шулепов С.М. Маршруты: 42, 73.

Как видно из представленной информации больше всего маршрутов обслуживает ОАО «ТПАТП №1» и ОАО «ТПАТП №2».

Маршрутная сеть предприятия ОАО «ТПАТП №1» насчитывает 39 маршрутов, из которых 22 – городских и 17 – дачных, общей протяженностью 675 км. В настоящее время ежедневно в будние дни на маршруты го-

рода выходит 154 автобуса предприятия, которые выполняют свыше 1700 рейсов в день [10].

Предприятие ОАО «ТПАТП №2» осуществляет городские пассажирские перевозки по 22 маршрутам, в том числе по 11 садоводческим и 3 пригородным – социально значимым маршрутам, на которых перевозится большое количество льготных категорий пассажиров. Подвижной состав насчитывает 130 автобусов. Протяженность маршрутной сети составляет 433,4 км. Ежедневно на маршруты города выходит 84 автобуса, которые выполняют свыше 1000 рейсов в день. [11].

С 1.04.2015 г. в Тюмени проезд в городском общественном транспорте как муниципальном, так и частном составил 22 руб. До 1.11.2012 г. стоимость проезда была 14 руб. Таким образом за 3 года тариф увеличился на 8 руб. (более чем на 35 %). Основными причинами роста стоимости проезда является увеличение зарплат водителям и кондукторам, а также расходов на топливо, ремонт и обслуживание транспортных средств и др.

Одним из путей снижения или сдерживания стоимости проезда в общественном транспорте может являться применение альтернативных топлив вместо традиционных (бензин, дизельное топливо). Наиболее перспективным направлением является сжатый природный газ (метан) [3, 5, 6, 8, 12, 15, 16, 19]. Это связано с тем, что стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа, эквивалентного 1 л. Бензина, не превышает 50 %.

Однако на сегодняшний день заправиться метановым топливом в Тюмени можно лишь на одной автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС), которая расположена на выезде из города на 12 км Ялуторовского тракта. Естественно автобусам ездить на заправку нецелесообразно как в экономическом плане (увеличивается холостой пробег), так и временном.

Таким образом, перед проработкой вопроса установки газобаллонной аппаратуры на автобусы в Тюмени необходимо понимать, где они будут производить заправку природным газом. Следовательно, для актуальности использования природного газа необходима разветвлённая сеть АГНКС. При этом одним из главных технических моментов при строительстве автомобильных компрессорных станций является наличие вблизи газопровода.

Однако проблема строительства присутствием газопровода не ограничивается. Ввиду высокой стоимости автомобильных компрессорных станций (к примеру цена на 2015 г. одной АГНКС-500 полной комплектации составляет 50-55 млн. руб. плюс затраты на установку 10-15 % от стоимости компрессорной станции) достаточно проблематично представить, что бюджет региона найдет денежные средства на их установку.

В связи с этим наиболее перспективным направлением в нынешней ситуации будет являться строительство мини АГНКС на территориях автобусных предприятий.

На совещании между представителями ОАО «ТПАТН №1», департамента дорожной инфраструктуры и транспорта администрации г. Тюмени и ОАО «МАЗ», которое состоялось в Тюмени в марте 2015 г. поднимался вопрос о возможности приобретения газовых автобусов МАЗ-203965 [14]. Следовательно, целесообразно рассмотреть на примере данного автобуса возможности рассматриваемых АГНКС.

Мини АГНКС подключается к бытовой газовой сети с интервалом давлений от 0,017 до 0,035 бар. При этом давление заправки метана в автомобиль составляет стандартные 200 бар (19,6 МПа).

Фирмы ООО «Радеми», ООО «Эльде И. Си.», ПАО ПЭК «Сумыгазмаш» и др. занимающиеся поставкой мини АГНКС, предлагают комплектации производительностью до 40 нм<sup>3</sup>/час (960 нм<sup>3</sup>/сут.). Стоимость составляет 1200-1400 тыс. руб.

Так как суммарная ёмкость баллонов газового МАЗ-203965 составляет 257 м<sup>3</sup>, то подобные заправочные станции смогут заправить в сутки не более 4 таких автобусов в день. Таким образом целесообразно применять такие компрессорные станции на предприятиях использующих легковые газобаллонные автомобили (ГБА) и микроавтобусы.

Компания ООО «Бродвей» (завод производитель оборудования SICOM) предлагает мини АГНКС со следующими техническими характеристиками (табл.).

Таблица

Технические характеристики мини АГНКС

| модель        | входное давление | выходное давление | производительность   | дожимной компрессор |
|---------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|
|               | бар              | бар               | нм <sup>3</sup> /час |                     |
| (220)115-4    | 4                | 220               | 115                  | нет                 |
| (220)140-4    | 4                | 220               | 140                  | нет                 |
| (360)400-4+В  | 4                | 250               | 400                  | да                  |
| (220)140-10   | 10               | 250               | 140                  | нет                 |
| (220)200-10   | 10               | 250               | 200                  | нет                 |
| (360)400-10+В | 10               | 250               | 400                  | да                  |

В данном случае при наличии дожимного компрессора на АГНКС можно заправить газа до 400 нм<sup>3</sup>/час или 9600 нм<sup>3</sup>/сут. Таким образом, можно осуществить заправку 37 автобусов МАЗ-203965.

Следовательно, более целесообразно устанавливать мини АГНКС моделей (360)400-4+В и (360)400-10+В. Их стоимость в 5 раз ниже по сравнению с АГНКС-500.

Использование мини АГНКС на предприятиях исключает холостой пробег до заправки. Также при массовом использовании ГБА, работающих

на природном газе снижается вредное воздействие на окружающую среду [1, 2, 4, 6, 7, 17, 18].

При переводе автобусных парков на метан в перспективе можно рассчитывать на снижение платы за проезд в общественном транспорте.

### Список литературы

1. Анисимов И.А., Иванов А.С. Исследование экологических показателей газодизельных автомобилей при выполнении транспортной работы в низкотемпературных условиях эксплуатации // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2011. № 3. С. 61-64.
2. Анисимов И. А., Чикишев Е. М. Влияние низких температур воздуха на расход топлива и выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобилей, эксплуатирующихся на компримированном природном газе и бензине // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2010. № 5(53). С. 32-37.
3. Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Исследования приспособленности автомобилей, работающих на природном газе и бензине, к фактическим температурам воздуха // Газовая промышленность. 2014. № 2 (702). С. 82-85.
4. Анисимов И. А., Чикишев Е. М. Сравнительная оценка приспособленности автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации при работе на бензине, сжиженном нефтяном и компримированном природном газе по расходу топлива и выбросам вредных веществ // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2013. № 12 (81). С. 3-7.
5. Бондаренко Е.В., Филиппов А.А., Фазуллин М.Р., Шайлин Р.Т. К вопросу необходимости развития сети метановых заправок в г. Оренбурге // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 4 (39). С. 15-23.
6. Ерохов В.И. Газодизельная система питания нового поколения // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2013. № 9 (78). С. 15-23.
7. Иванов А.С., Анисимов И.А., Чикишев Е.М. Корректирование платы за выбросы вредных веществ с отработавшими газами газодизельными автомобилями в низкотемпературных условиях // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2013. № 12 (81). С. 17-21.
8. Куксанов В.Ф., Филиппов А.А., Дудченко О.В. Совершенствование эколого-экономических инструментов стимулирования внедрения газового моторного топлива на маршрутном транспорте (на примере г. Оренбурга) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 10. С. 99-106.
9. МКУ «Тюменьгортранс». [Электронный ресурс]. URL: <http://tgt72.ru/kto-nas-vozt/companies/> (дата обращения: 12.09.2015).
10. Официальный сайт ОАО «ТПАТП №1» и ОАО «ТПАТП №2». [Электронный ресурс]. URL: <http://tat72.ru/> (дата обращения: 10.09.2015).
11. Официальный сайт ОАО «ТПАТП №1» и ОАО «ТПАТП №2». [Электронный ресурс]. URL: <http://tat72.ru/o-kompanii-0> (дата обращения: 10.09.2015).
12. Певнев Н.Г., Банкет М.В., Бакунов А.С. Перспективы развития инфраструктуры использования КПП в Омске // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). С. 7-11.
13. Развитие конкуренции в сфере городских и междугородних перевозок. [Электронный ресурс]. URL: [http://admtyumen.ru/ogv\\_ru/finance/transport/transport/more.htm?id=10828012@cmsArticle](http://admtyumen.ru/ogv_ru/finance/transport/transport/more.htm?id=10828012@cmsArticle) (дата обращения: 11.09.2015).
14. Тюменское ПАТП№1 собирается стать официальным дилером МАЗа. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vsluh.ru/news/auto/292545> (дата обращения: 12.09.2015).

15. Чикишев Е.М. К вопросу рационального размещения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в г. Тюмени // Новые технологии - нефтегазовому региону / отв. редактор О.А. Новоселов. 2015. С. 171-173.
16. Чикишев Е.М. Необходимость сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в г. Тюмени // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2015. № 9 (102).
17. Чикишев Е.М. Экономические и экологические аспекты эксплуатации транспортных средств на компримированном природном газе и бензине в условиях низких температур воздуха // Автотранспортное предприятие. 2010. № 1. С. 43-45.
18. Чикишев Е. М. Анисимов И. А. Влияние низких температур воздуха на энергетические и экологические параметры газобаллонных автомобилей // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 6 (30). С. 32-33.
19. Чикишев Е.М., Иванов А.С., Анисимов И.А. Перспективы использования природного газа и приборов его учёта на автомобильном транспорте // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: ООО «Изд-во Машиностроение». 2015. № 4 (97). С. 3-9.

УДК 656.13

## **ОСОБЕННОСТИ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА СПЕЦИАЛЬНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ АЭРОПОРТОВ**

*И.Ф. Шакиров*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

При эксплуатации специальных автомобилей возникают проблемы, связанные с нормированием топлива. На сегодняшний день службы спецтранспорта аэропортов производят списание топлива по двум документам: распоряжению Минтранса России от 14.03.2008г. №АМ-23-Р «О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» и Указанию МГА СССР от 15 августа 1989 г. N 436/у «О введении в действие новых норм расхода ГСМ средствами механизации в гражданской авиации».

Стоит заметить, что нормативы и надбавки, разработанные вышеупомянутыми организациями, не отображают действительный расход топлива. Вследствие чего, норма расхода топлива устанавливается на основании измерений фактического расхода топлива при работе средства по своему прямому назначению в условиях аэропортов, проведенных комиссией, назначенной приказом директора авиапредприятия. Кроме того, нормативный расход топлива может быть определен по разработанной ГосНИИ ГА и ГПИиНИИ ГА Аэропроект совместно с НАМИ Минавтопрома СССР «Методике аналитического расчета норм расхода автомобильного топлива средствами механизации производственных процессов в аэропортах гражданской авиации», утвержденной УНС МГА 14.07.1988.

В современном аэропорту авиационная наземная техника применяется для технического и коммерческого обслуживания воздушных судов (ВС), эксплуатационного содержания аэродромов. Применение авиационной наземной техники непосредственно связано с обеспечением безопасности и регулярности полетов ВС.

В ходе исследований была изучена структура и численный состав парков служб автотранспорта различных аэропортов России. Было выявлено, что большая часть автомобилей - это специальные автотранспортные средства, средняя их доля в процентах от общего числа техники составляет 52%.

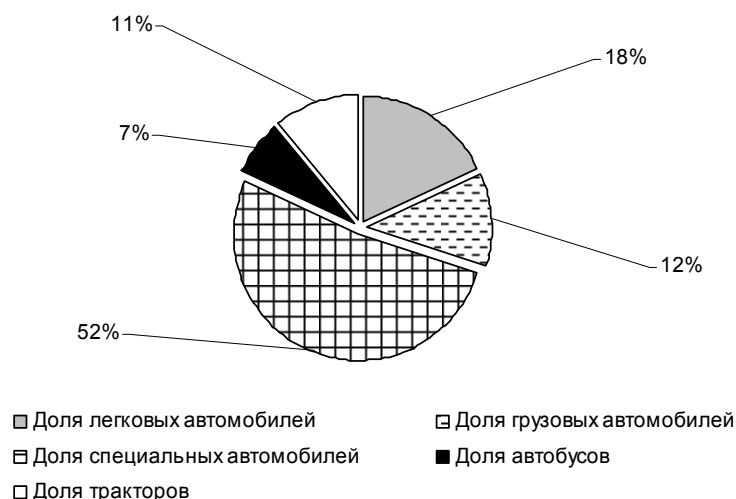


Рис. 1 Типовая структура парка техники аэропортов

Соотношение числа специальных автомобилей к общему числу автомобилей сохраняется во всех аэропортах независимо от населения города, пассажиропотока и климатических условий.

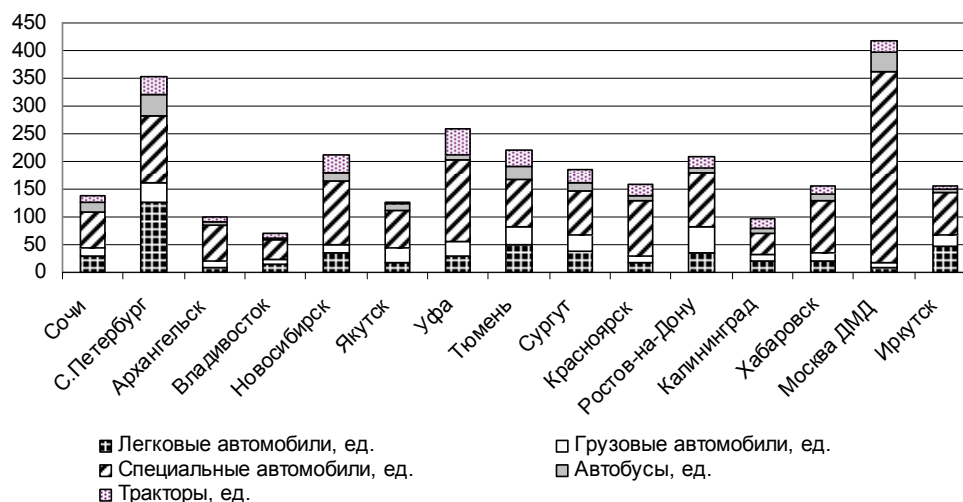


Рис. 2 Состав парка техники аэропортов

Данный факт объясняется тем, что основная задача служб спецтранспорта аэропортов состоит в обеспечении бесперебойного коммерческого и технического обслуживания воздушных судов, а также поддержании аэродромных покрытий в чистоте и порядке. Соответственно, автомобили для обеспечения общехозяйственной деятельности занимают меньшую долю от общего количества техники.

Особое внимание стоит уделить автомобилям для содержания аэродромных покрытий. Понятие «содержание покрытий» объединяет комплекс работ по поддержанию в чистоте и порядке в течение всего времени года твердых покрытий всех типов на всем их протяжении. Машины для содержания покрытий, как правило, самоходные, их монтируют на базу автомобилей или колесных тракторов.

Широкое распространение снегоочистительных автомобилей обусловлено природно-климатическими факторами, поскольку в соответствии с ГОСТ 16350-80 «Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей» большая часть территории России находится в очень холодном, холодном и умеренно холодных районах.

На сегодняшний день наименее изученным является вопрос нормирования расхода топлива снегоочистительными автомобилями.

Вследствие чего, было принято решение проводить экспериментальные исследования на примере специальных автомобилей данной категории, типичным представителем которой является аэродромная компактная подметально-продувочная машина SCHMIDT тип CJS 914 Super II, базовое шасси Mercedes-Benz Actros.



Рис. 3 Аэродромная компактная подметально-продувочная машина SCHMIDT тип CJS 914 Super II во время работы



Компактная подметально-продувочная машина фирмы SCHMIDT Compact Jet Sweeper CJS Super II - высокопроизводительная машина, специально предназначенная для скоростной уборки снега на искусственных покрытиях аэропорта. Стандартное оборудование:

- подметальный агрегат;
- неповоротное продувочное устройство;
- снегоуборочный отвал.

Автомобиль оснащен двумя двигателями внутреннего сгорания Daimler, используемых для передвижения транспортного средства и привода снегоочистительной щетки и продувочного устройства. Топливная система с одним баком объемом 600 л., гарантирует 8-10 часов работы обоих двигателей. Подобное устройство автомобиля, а именно, потребление топлива из одного и того же бака при разных наработке и режимах работы двигателей, затрудняет нормирование расхода топлива и его списание.

Управление работой навесного оборудования, в том числе режимом работы продувочного устройства (характеризуется объемом выдуваемого воздуха) и режимом работы снегоочистительной щетки (характеризуется силой прижатия щетки) осуществляется водителем транспортного средства. Выбор того или иного режима работы оборудования производится исходя из текущих погодных условий и степени очистки аэродромных покрытий.

На основании анализа литературных источников можно сделать вывод, что основными факторами, влияющими на расход топлива автомобилей, являются механические потери в двигателе и трансмиссии, а также преодоление сопротивления движению автомобиля. [1]

Стоит заметить, что вышеуказанные факторы несомненно оказывают влияние на расход топлива снегоочистительными автомобилями, но не являются основными, поскольку многие показатели эксплуатации снегоочистительных автомобилей аэропортов строго регламентированы.

Работы по очистке искусственных поверхностей аэродромов осуществляются в соответствии с положениями нормативного документа «Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов РФ». Процесс очистки производится с постоянной скоростью в пределах 12-18 км/ч. Соответственно, фактор скорости автомобиля не учитывается в работе.

Очистка взлетно-посадочных полос и рулежных дорожек производится методом патрульной очистки. Начинается она непосредственно в момент выпадения осадков и продолжается до окончания снегопада. Это необходимо для предотвращения появления наката и снежно-ледяных образований. Допустимая высота снега регламентирована в пределах не более 5 см.

Среди прочего на расход топлива снегоочистительных автомобилей оказывают влияние климатические условия эксплуатации. Основным фактором является температура окружающего воздуха.

Можно сделать вывод, что основной особенностью нормирования расхода топлива снегоочистительными автомобилями является необходи-

мость учета и расчета величины расхода топлива, затрачиваемого на передвижение снегоочистительного автомобиля (эта величина изменяется под влиянием таких факторов, как температура окружающего воздуха и количество осадков), и величины расхода топлива, затрачиваемого на работу навесного оборудования.

Согласно статистическим данным Федеральной службы государственной статистики за последние 10 лет наблюдается ежегодный рост стоимости дизельного топлива. [2] В свою очередь, стоимость топлива влияет на себестоимость работ специальных автомобилей служб аэропорта и, как следствие, приводит к увеличению тарифов на аэропортовое обслуживание воздушных судов авиакомпаний.

Принимая во внимание, что основу парка служб спецтранспорта составляют специальные автомобили, то работа по совершенствованию норм расхода топлива данной категории автомобилей является актуальной задачей, позволяющей сократить затраты авиапредприятий на закупку топлива путем совершенствования норм расхода топлива.

#### **Список литературы**

1. Кузнецов Е.С., Воронов В.П., Болдин А.П. и др. Техническая эксплуатация автомобилей. - М.: Транспорт, 1991.-413 с.
2. Информационный портал Федеральной службы государственной статистики РФ <http://www.gks.ru>.

УДК 656.13

### **КОРРЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ**

*Г.В. Штайн*

*Тюмень, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

Отечественные двигатели выпуска 60...70 годов прошлого столетия (ЯМЗ-236;238;240, КАМАЗ-740), получившие применение в качестве основных энергетических установок не только для автомобилей, но и для строительно-дорожной, тракторной и специальной техники (транспортно-технологических машин), используемых в нефтегазодобыче, характеризуются сравнительно небольшим коэффициентом приспособляемости ( $K_n=1,1...1,15$ ). Величина этого коэффициента определяется отношением максимального вращающего момента к моменту,

развиваемому двигателем на номинальной частоте вращения коленчатого вала. В зарубежной литературе этот коэффициент трактуется как «запас момента или крутизна момента». Учитывая эксплуатационные условия работы этой техники (постоянно меняющиеся сопротивления на рабочем органе), создаются негативные последствия по обеспечению стабильного скоростного режима двигателя. Чем больше величина  $K_p$ , тем больше нагрузки преодолевает двигатель без переключения коробки передач. Важное значение при этом имеет и диапазон изменения частоты вращения коленчатого вала, в котором двигатель работает устойчиво, чем больше этот диапазон, тем устойчивее работа двигателя при изменяющихся нагрузках. Скоростной диапазон устойчивой работы двигателя оценивается коэффициентом  $K_c$ , представляющим собой отношение частоты вращения коленчатого вала при максимальном вращающем моменте к номинальной частоте вращения. Отсюда следует, что чем больше диапазон устойчивой работы двигателя, тем меньше значение  $K_c$ . На рис. 1. представлена скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-238ДЕ, применяемого на отечественной специальной технике. строительно-дорожных машинах.

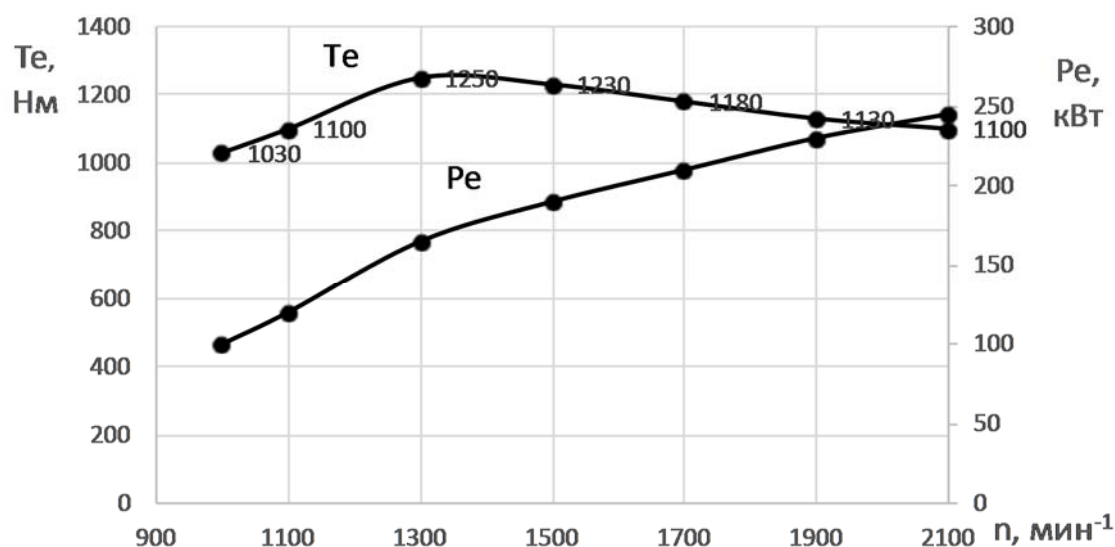


Рис.1. Скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-238ДЕ

Согласно этой характеристики двигателя величина коэффициента приспособляемости определяется соотношением:

$$K_p = \frac{T_{e.\max}}{T_{e.\text{ном}}} = \frac{1250}{1100} = 1,136;$$

где  $T_{e.\max}$  — максимальный вращающий момент двигателя;  $T_{e.\text{ном}}$  — вращающий момент двигателя при номинальной частоте вращения коленчатого вала.

соответственно скоростной коэффициент:

$$K_c = \frac{n_T}{n_{ном}} = \frac{1300}{2100} = 0,619.$$

где  $n_T$  — частота вращения коленчатого вала при максимальном вращающем моменте двигателя;  $n_{ном}$  — номинальная частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности двигателя.

В настоящее время для двигателей с электронной системой управления удастся формировать эксплуатационную характеристику не только с высоким коэффициентом приспособляемости, но и увеличивать так называемый скоростной коэффициент устойчивости за счет создания площадки постоянного момента, т.е. расширить диапазон устойчивой работы при переменных нагрузках.

На рис.2. представлена эксплуатационная характеристика нового двигателя ЯМЗ- 650, устанавливаемого на спецтехнике с базовым автомобилем «Урал» или «МАЗ» с электронной системой управления топливopодачи типа «Common Rail».

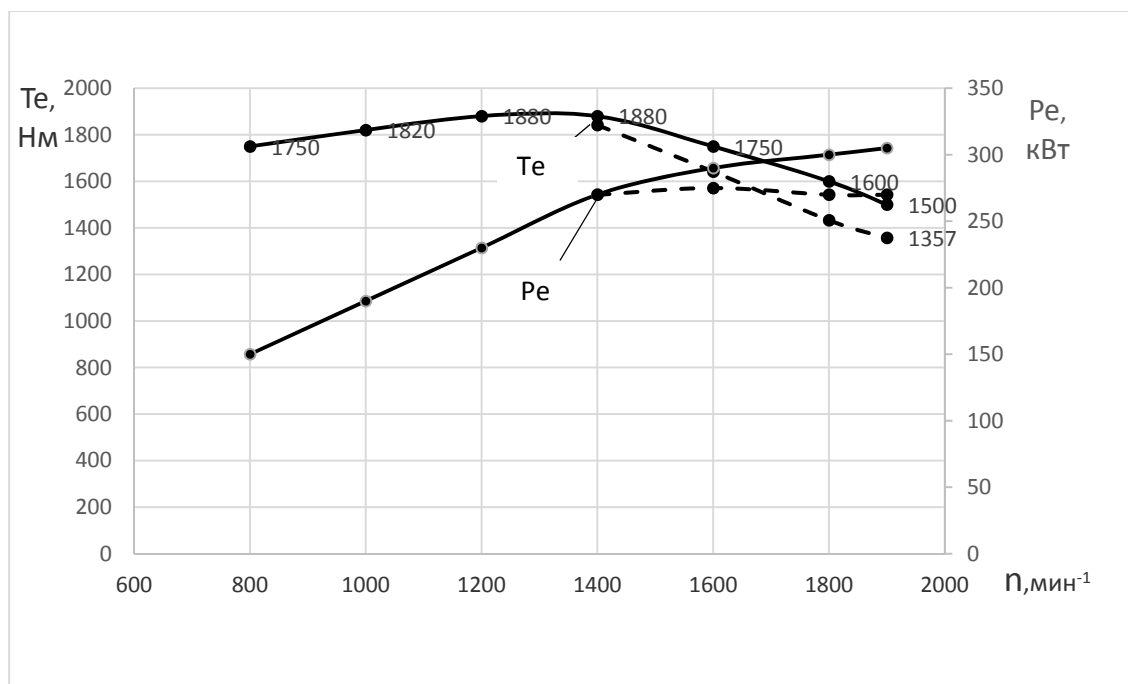


Рис.2. Скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-650

— характеристика базовой модели двигателя; — — — характеристика модернизированного двигателя (расчетный вариант)

Базовая модель этого двигателя характеризуется следующими величинами коэффициента приспособляемости:

$$K_n = \frac{1880}{1500} = 1,25;$$

скоростного коэффициента:

$$K_c = \frac{1200}{1900} = 0,63.$$

Как видно из этих соотношений, скоростной коэффициент двигателя ЯМЗ-650 хуже, чем у двигателя ЯМЗ-238ДЕ. Предлагается за счет калибровки электронного блока управления двигателя ЯМЗ-650, изменяя соответствующие факторы, добиться формирования кривой момента двигателя в соответствующей зоне нагрузок и частоты вращения коленчатого вала. Учитывая современные тенденции в двигателестроении (улучшение экологических и топливно-экономических показателей) а также характер работы определенного типа техники в тяжелых условиях, допускается дефорсирование двигателя (рис.2) до уровня мощности при максимальном вращающем моменте. При этом корректорная ветвь скоростной характеристики опускается в область минимального удельного расхода топлива, обеспечивается снижение содержания токсичных веществ в отработавших газах (работа двигателя осуществляется при повышенном коэффициенте избытка воздуха по сравнению с исходным вариантом).

В работе[1]приведены аналитические зависимости, обеспечивающие корректирование вращающего момента двигателя. Выполнив необходимые расчеты, применительно к двигателю ЯМЗ-650 построена корректорная ветвь вращающего момента (рис.2), обеспечивающая величину коэффициента приспособляемости:

$$K_{\pi} = \frac{1880}{1357} = 1,38;$$

Таким образом, увеличение коэффициента приспособляемости двигателя ЯМЗ-650 за счет коррекции вращающего момента с использованием калибровки электронного блока может составлять до 10%.

#### Список литературы

1. Штайн Г.В. Корректирование эксплуатационной характеристики двигателей семейства ЯМЗ. Транспортные системы Сибири. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Красноярск.2005г. 228с. с.206-207.

*Научное издание*

## **НЕФТЬ И ГАЗ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**Том III**

**Проектирование, сооружение и эксплуатация систем транспорта  
и хранения нефти и газа**

**Автомобильно-дорожные проблемы нефтегазового комплекса**

Составитель: *С. Н. Крощева*  
Дизайн обложки *А. В. Клеменко*  
Верстка *Д. В. Стрельникова*

Подписано в печать 12.10.2015. Формат 60х90 1/16. Печ. л. 21,62.  
Тираж 60 экз. Заказ № 321.

Библиотечно-издательский комплекс  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет».  
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.  
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.