Грузовик с приложением

3
2014

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель
ООО «Издательство Машиностроение»

Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

Д.Х. Валеев, д-р техн. наук, гл. констр. ОАО "КАМАЗ"
В.М. Вовк, ген. дир. ОАО МЗКТ
В.А. Волчков, гл. ред. "Autotransportnik.ru"
С.М. Гайдар, д-р техн. наук, проф., МСХА им. К.А. Тимирязева
Л.В. Грехов, д-р техн. наук, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана
В.А. Зорин, д-р техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
А.М. Иванов, д-р техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
Н.И. Иващенко, д-р техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана
В.В. Комаров, канд. техн. наук, зам. ген. директора ОАО НИИАТ
В.А. Марков, д-р техн. наук, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана
А.Н. Ременцов, д-р пед. наук, канд. техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
О.Н. Румянцева, ком. директор ООО "Издательство Машиностроение"
А.Ф. Синельников, канд. техн. наук, проф. МАДГТУ (МАДИ)
В.С. Устименко, канд. техн. наук, НИИЦ АТ ФГУ 3 ЦНИИ МО РФ
Х.А. Фасхиев, д-р техн. наук, проф. Уфимского ГАТУ
Н.Д. Чайнов, д-р техн. наук, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана

Корпункты:
Я.Е. Карповский (г. Минск)
В.Г. Дьяченко (г. Харьков)

Адрес редакции
107076, Москва, Стромынский пер. 4.
Тел. (499) 269-49-97
E-mail: grouzovik@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства
107076, Москва, Стромынский пер. 4.
Тел. (499) 268-38-58

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре.
Регистрационный номер ПИ № ФС77-42764
от 26 ноября 2010 г.

Подписной индекс:
по каталогу «Роспечать» 37349,
по объединенному каталогу
«Пресса России» 39799,
по каталогу «Почта России» 25782

© ООО «Издательство Машиностроение», «Грузовик», 2014

Перепечатка материалов из журнала «Грузовик» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Грузовик» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

В НОМЕРЕ:

Конструкция

2 *Макеев В. Н., Плешков Д. Д.* Конструкция грузоподъемного механизма гидравлического экскаватора с измененными параметрами

5 *Евграфов А. Н., Шведов С. Б.* Влияние формы прицепа на аэродинамические свойства легкового автопоезда

Городской пассажирский наземный транспорт

8 *Максимов В. А., Рощак С. В., Максимов П. В.* Нормативы технического обслуживания новых моделей городских автобусов ЛиАЗ-52922 в условиях ГУП "Мосгортранс"

10 *Янчевская Е. В.* Методика прогнозирования потребности в шинах на предстоящий период

14 *Багров В. В., Графов Д. Ю., Десятов А. В., Духов А. В., Кутербеков К. А., Нурахметов Т. Н.* Метод определения степени затопления твердополимерного топливного элемента путем снятия потенциодинамических кривых

Транспортный комплекс (цикл статей)

17 *Кокодеева Н. Е., Кочетков А. В., Янковский Л. В., Волков Г. Н.* Прямой метод расчета ускорения колеса транспортного средства с учетом геометрии неровности автомобильной дороги (метод И. П. Рабиновича)

Надежность и безопасность (цикл статей)

23 *Анохин Б. Б., Аржанухина С. П., Самодурова Т. В., Кочетков А. В.* Специализированный прогноз состояния дорожного покрытия

Эксплуатация. Ремонт

31 *Чайнов Н. Д., Сусликов В. В.* Упрочнение коленчатого вала методами поверхностного пластического деформирования

Исследования. Расчет

36 *Кузнецов Е. В.* Выбор параметров двигателя и трансмиссии трактора

Экология

41 *Марков В. А., Девянин С. Н., Шимченко С. П.* Использование биогаза для получения электроэнергии в агропромышленных комплексах

48 *Abstracts of articles*

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Аннотации статей на русском и английском языках публикуются на сайте <Autotransportnik.ru>

УДК 383:621.879

В. Н. Макеев, канд. техн. наук, проф., **Д. Д. Плешков**, Воронежская государственная лесотехническая академия (ВГЛТА)
E-mail: pleskov2012@yandex.ru

КОНСТРУКЦИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА С ИЗМЕНЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В процессе разработки грунта гидравлическим экскаватором от работы его грузоподъемного механизма прямым образом зависят многие факторы выполнения операций копания и перемещения грунтов, которые оказывают существенное влияние на производительность. Установлено, что общепринятая конструкция грузоподъемного механизма несовершенна и имеет недостатки. С целью их устранения, увеличения производительности при производстве земляных работ, удобства эксплуатации, применения различных видов сменного рабочего оборудования, предлагается изменить конструкцию грузоподъемного механизма, путем введения в его конструкцию дополнительного звена. Это позволит более рационально использовать потенциал гидравлического экскаватора в различных условиях эксплуатации и в конечном счете повысить производительность.

Ключевые слова: *конструкция, гидравлический экскаватор, грузоподъемный механизм, рабочее оборудование, разработка грунта, производительность.*

Гидравлические экскаваторы являются универсальными машинами, способными выполнять практически любые операции в условиях их применения, заменяя тем самым другие специализированные машины. Все это возможно благодаря наличию широкого спектра сменного рабочего оборудования и рабочих органов.

Установлено, что наиболее эффективное их использование сдерживается постоянными (неизменными) параметрами конструкции грузоподъемного механизма (ГМ), для всех видов рабочего оборудования и рабочих органов, которые в свою очередь отличаются между собой не только размерами, массой, но и характерными особенностями их применения. В результате анализа существующих конструкций ГМ гидравлических экскаваторов выявлено, что [1]: в современных конструкциях ГМ гидроцилиндры подъема стрелы на отечественных и зарубежных экскаваторах имеют постоянное место присоединения к платформе и они не решают задачи изменения своих параметров в зависимости от условий эксплуатации; в конструкциях с нестандартными ГМ, позволяющих увеличить глубину и радиус копания грунта, присутствует существенный недостаток — резко снижается устойчивость экскаватора и соответственно возрастает риск опрокидывания; ГМ, не изменяющий своих параметров в зависимости от вида применяемого рабочего оборудования и условий эксплуатации, является тормозом на пути эффективного использования имеющегося потенциала гидравлического экскаватора.

В связи с тем, что существующие конструктивные решения ГМ имеют постоянные параметры для всех видов сменного рабочего оборудования, возникает целесообразность создания ГМ, который бы обеспечивал изменение технологических параметров в зависимости от вариации рабочего оборудования, зон разработки и выгрузки грунта.

Для решения вопроса максимального использования ГМ гидравлического экскаватора в зависимости от вида рабочего оборудования и условий эксплуатации, на основании проведенных теоретических исследований [2], предлагается использование дополнительного звена — кронштейна треугольной формы, служащего для изменения подъемной со-

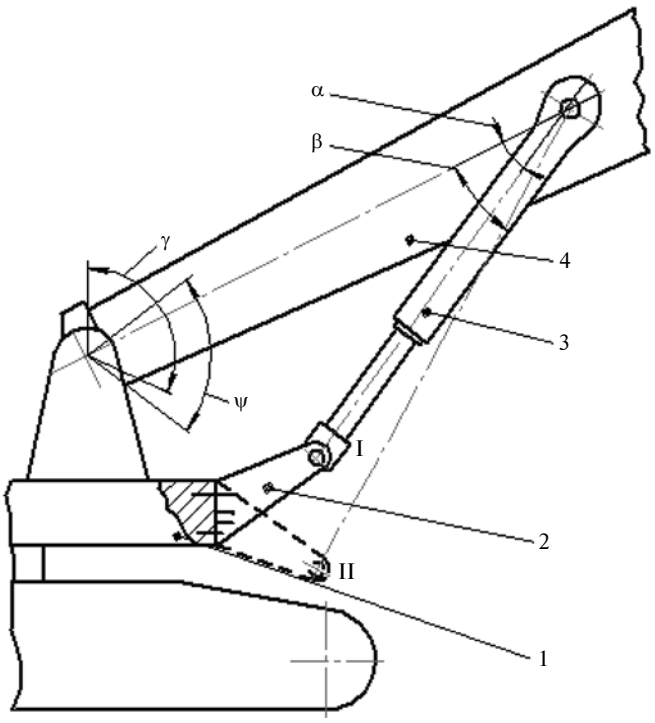


Рис. 1. Общий вид гидравлического экскаватора с измененной конструкцией грузоподъемного механизма

ставляющей гидроцилиндров стрелы в требуемых рабочих зонах, для увеличения вылета рабочего оборудования, высоты и глубины копания, и для изменения параметров выгрузки.

На рис. 1 приведен общий вид гидравлического экскаватора с измененной конструкцией ГМ [3], которая содержит съемный кронштейн, один конец которого при помощи болтового соединения связан с платформой, а другой шарнирно соединен с гидроцилиндром поворота стрелы. На рис. 2 приведена схема крепления кронштейна к платформе экскаватора.

Существенным отличием от стандартных конструкций ГМ является то, что переносится точка крепления гидроцилиндра поворота стрелы к платформе и тем самым увеличивается угол между стрелой и гидроцилиндром ее поворота, что позволяет увеличить подъемную составляющую гидроцилиндров стрелы, составляющую усилия резания грунта в требуемых зонах работы и вылет рабочего оборудования.

При использовании экскаватора с оборудованием типа прямая лопата, которое предназначено, как известно для разработки грунта, находящегося выше плоскости опоры экскаватора, кронштейн устанавливается на платформу в положение I (см. рис. 1), при котором обеспечивается необходимый угол γ качания стрелы *4* для охвата зоны работы с данным оборудованием и возможно больший угол α между стрелой *4* и цилиндром ее поворота *3*. При установке на экскаватор рабочего оборудования типа обратная лопата, которое предназначено, как известно для разработки грунта ниже плоскости опоры экскаватора, кронштейн *2* устанавливается на платформу в положение II, которое обеспечивает необходимый угол поворота φ стрелы *4* для охвата зоны работы с этим рабочим оборудованием и возможно больший угол β между стрелой *4* и цилиндром ее поворота в нижней части этой зоны, при данном ходе поршня цилиндра. Размеры кронштейна выбираются для каждой модели экскаватора отдельно, на основании методики по исследованию и выбору параметров ГМ [4], исходя из требуемых углов поворота стрелы и обеспечения при этом оптимальных углов между стрелой и гидроцилиндром ее поворота, а также конструктивных возможностей.

Крепление кронштейна к платформе экскаватора достаточно простое (см. рис. 2). Отвернув болтовые соединения *6* и отсоединив гидроцилиндр поворота стрелы, осуществляется поворот кронштейна на 180° и соответственно переход экскаватора с одного вида рабочего оборудования на другой. Благодаря тому, что кронштейн посажен (зацентрован) на бобышке *5*, которая является частью платформы, облегчается крепление кронштейна после поворота.

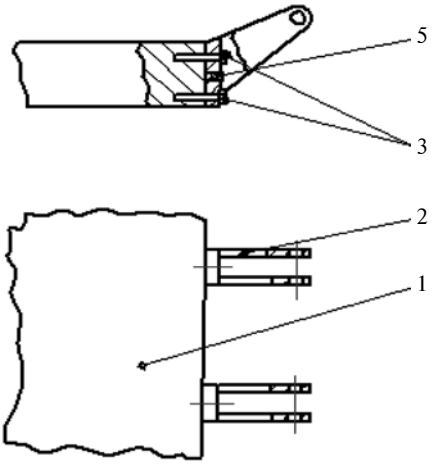


Рис. 2. Схема крепления кронштейна к платформе экскаватора

Изменение конструкции ГМ гидравлического экскаватора с использованием съемного кронштейна, позволяет увеличивать угол давления на стрелу со стороны гидроцилиндра ее поворота, что в свою очередь позволит иметь запас усилия, развиваемого гидроцилиндром стрелы, в требуемых рабочих зонах для различных видов рабочего оборудования. Съемный кронштейн способствует также снижению времени рабочего цикла благодаря увеличению составляющей усилия резания грунта, что позволит повысить производительность машины, более рационально использовать ее потенциал, исходя из вида рабочего оборудования и характерных особенностей проведения земляных работ, а в сравнении с машинами, выполняющими те же работы, позволяет также снизить металлоемкость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сушков С. И., Макеев В. Н., Плешков Д. Д.** Анализ конструктивных особенностей грузоподъемных механизмов гидравлических экскаваторов // Строительные и дорожные машины. 2012. № 6. С. 13—15.
2. **Макеев В. Н., Попиков П. И., Плешков Д. Д., Сидоров А. А.** Влияние параметров крепления гидроцилиндра подъема стрелы на динамическую нагруженность экскаватора // Изв. вузов северо-кавказ. регион. Техн. науки. 2007. № 5. С. 59—60.
3. **Патент** на полезную модель № 54971 РФ, МПК E02F 3/28. Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора / В. Н. Макеев, Д. Д. Плешков; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. № 2006106999; заявл.06.03.2006; опубл. 27.07.2006. Бюл. № 21. 2 с.
4. **Макеев В. Н., Плешков Д. Д.** Исследование и выбор параметров грузоподъемного механизма гидравлического экскаватора // Строительные и дорожные машины. 2010. № 9. С. 24—25.

Трехтысячный автобус ЛИАЗ-5292

Ликинский автобусный завод "Группы ГАЗ" выпустил трехтысячный автобус большого класса ЛИАЗ-5292. Производство автобусов ЛИАЗ-5292, предназначенных для использования в городах с интенсивным пассажиропотоком, началось в 2006 г. Юбилейным автобусом стал дизельный ЛИАЗ-5292, который передан ГУП "Мострансавто".

Первый в России низкопольный автобус большого класса ЛИАЗ-5292 был представлен в 2003 г. на Московском международном автосалоне и сразу получил признание членов жюри и посетителей, став победителем в номинациях "Лучший городской автобус" и "Приз профессионалов". В 2005 г. была представлена газовая модификация автобуса ЛИАЗ-5292 экологического стандарта Евро-4. Благодаря потребительским характеристикам автобусы ЛИАЗ стали особенно востребованы в крупных российских городах.

На данный момент машины оснащаются газовыми двигателями MAN, дизелями MAN и ЯМЗ экологического стандарта Евро-4 — EEV (Евро-5+), мостами и автоматической коробкой передач ZF. Общая пассажировместимость составляет 105 человек, в том числе 22 посадочных места. Автобус оснащен системой наклона кузова "книлинг", большой накопительной площадкой, оборудованной специальными креплениями для инвалидных колясок, аппарелью для въезда/съезда, что позволяет чувствовать себя комфортно всем категориям пассажиров. По желанию заказчиков, автобусы оснащаются оборудованием ГЛОНАСС, видеокамерами обзора салона с записью информации в "черный ящик" и маршрутной видеокамерой с возможностью передачи данных из автобуса на пульт диспетчерской, кондиционерами и т. д.

Основные преимущества автобуса ЛИАЗ-5292 — высокая надежность узлов, агрегатов и кузова, удобство посадки/высадки для всех категорий пассажиров, соответствие высоким экологическим нормам, высокая остаточная стоимость, унификация с другими моделями ЛИАЗ.

Доля низкопольных автобусов в плане производства Ликинского автобусного завода составляет до 60 %. Ранее города Москва, Санкт-Петербург, Челябинск закупили более 2500 ЛИАЗ-5292 в соответствии с программами по обновлению парка общественного транспорта. В рамках уже существующих контрактов в прошлом году отгружено 112 автобусов ЛИАЗ-5292 в Московскую область и Санкт-Петербург.

Пресс-служба "Группы ГАЗ"

УДК 629.33.072.5

А. Н. Евграфов, д-р техн. наук, проф., **С. Б. Шведов**, аспирант, ФГБОУ ВПО "МГИУ"
E-mail: ean5@mail.msiu.ru

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПРИЦЕПА НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКОВОГО АВТОПОЕЗДА

Рассмотрены особенности обтекания легкового автопоезда с высоким прицепом. Показано влияние формы прицепа на аэродинамическое сопротивление легкового автопоезда, в том числе при наличии бокового ветра.

Ключевые слова: *аэродинамическое сопротивление, высокий прицеп, форма прицепа, легковой автопоезд, расход топлива, обтекатель*

Аэродинамические свойства легкового автопоезда в значительной мере зависят от показателей обтекаемости высокого прицепа. Отечественные серийные высокие прицепы имеют прямоугольную форму с острыми фронтальными кромками, что значительно ухудшает аэродинамические свойства наших легковых автопоездов.

Одним из важнейших аэродинамических свойств легкового автопоезда является его аэродинамическое сопротивление. Как отмечалось в работе [1], из-за плохой обтекаемости высокого прицепа прямоугольной формы аэродинамическое сопротивление легкового автопоезда с таким прицепом большое, его коэффициент аэродинамического сопротивления $C_x = 0{,}70 \div 0{,}75$. Изменением формы высокого прямоугольного прицепа в направлении улучшения его обтекаемости можно значительно снизить аэродинамическое сопротивление. На рис. 1 показаны возможности снижения коэффициента аэродинамического сопротивления легкового автопоезда путем совершенствования формы высокого прицепа для обеспечения его наилучшего обтекания. Видно, что отработка формы прицепа позволила более чем вдвое снизить коэффициент аэродинамического сопротивления легкового автопоезда с высоким прямоугольным прицепом. Надо отметить, что, как показали наши исследования, основное влияние на улучшения обтекаемости высокого прицепа оказывает совершенствование формы его лобовой части. Отработка формы кормовой части высокого прицепа, учитывая сравни-

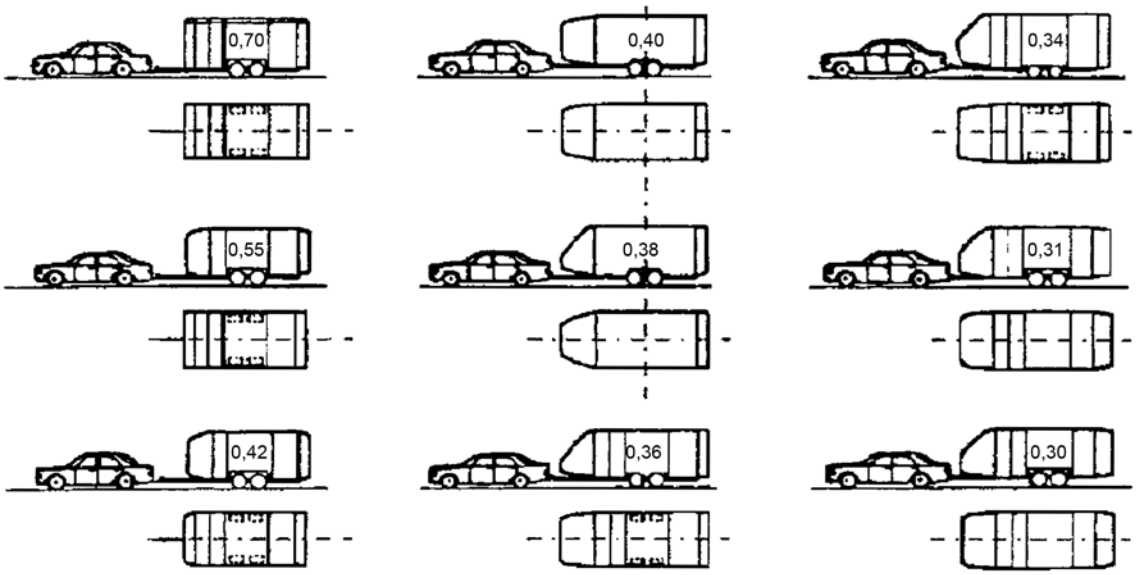


Рис. 1. Влияние формы прицепа на величину коэффициента C_x легкового автопоезда

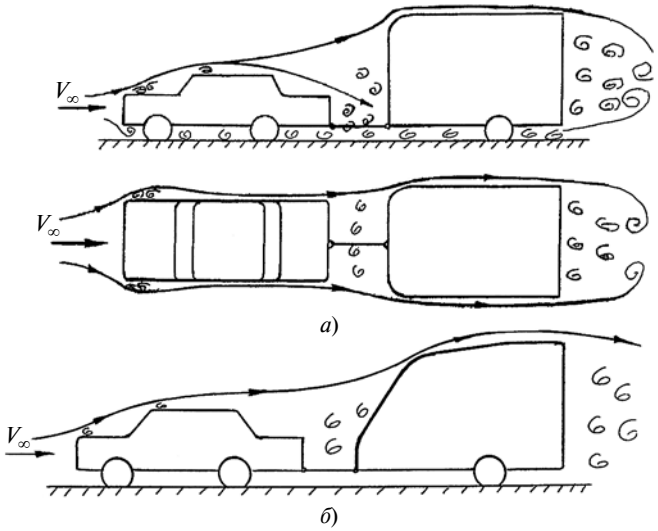


Рис. 2. Схема обтекания легкового автопоезда конструктивными решениями по снижению аэродинамического сопротивления высокого прицепа:

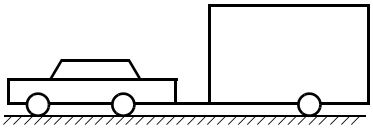
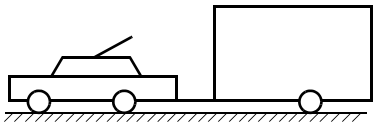
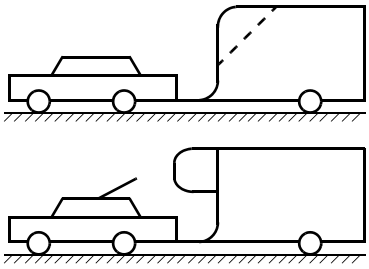
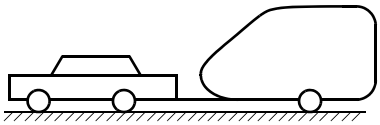
а — с закругленными фронтальными кромками; *б* — с наклоненной передней стенкой

тельно невысокие скорости движения легкового автопоезда не дает заметного улучшения его обтекаемости.

Здесь следует отметить, что такая основательная отработка формы высокого прицепа, как это показано на рис. 1, требует значительных капиталовложений. При этом, как установлено нашими исследованиями, можно также добиться значительного снижения аэродинамического сопротивления легкового автопоезда, изменяя форму высокого прицепа в направлении улучшения его обтекаемости, но с меньшими материальными затратами (рис. 2). На рис. 2, *а* показан легковой автопоезд с высоким прицепом, фронтальные кромки которого закруглены радиусом 120 мм. Такое конструктивное решение высокого прицепа позволило снизить аэродинамическое сопротивление легкового автопоезда на 35 %.

На рис. 2, *б* показана схема обтекания автопоезда с высоким прицепом, имеющим наклоненную лобовую стенку. При такой форме высокого прицепа благодаря уменьшению сопротивления давления на его лобовую стенку аэродинамическое сопротивление легкового автопоезда снижается на 25 %. Величину снижения аэродинамического сопротивления легкового автопоезда в зависимости от угла наклона

Влияние конфигурации легкового автопоезда на показатели его обтекаемости при воздействии бокового ветра

Уровень обтекаемости легкового автопоезда	Конфигурация легкового автопоезда	Значение коэффициента C_{x_0}	Значение коэффициента K_β
Плохо обтекаемый		0,70—0,75	0,008
Умеренно обтекаемый		0,55—0,60	0,007
Хорошо обтекаемый		0,40—0,45	0,006
Обтекаемый		0,35—0,40	0,004

лобовой стенки высокого прицепа можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$\Delta C_{x_\varphi} = K_\varphi \varphi_c, \quad (1)$$

где K_φ — коэффициент, учитывающий влияние радиуса закругления верхней фронтальной кромки высокого прицепа; φ_c — угол наклона лобовой стенки высокого прицепа.

При радиусе закругления верхней фронтальной кромки высокого прицепа: 120—150 мм, значение коэффициента $K_\varphi = 0{,}005$. При незакругленной верхней фронтальной кромке $K_\varphi = 0{,}008$.

В реальных дорожных условиях на легковой автопоезд воздействует боковой ветер, вызывающий заметное увеличение его аэродинамического сопротивления и расхода топлива. Поэтому при аэродинамическом проектировании легкового автопоезда с высоким прицепом следует отрабатывать параметры обтекаемости и при кососимметричном натекании воздушного потока. Анализ экспериментальных зависимостей $C_x = f(\beta)$ показывает, что оценка уровня обтекаемости легкового автопоезда при кососимметричном натекании воздушного потока может проводиться по следующей формуле:

$$C_{x_\beta} = C_{x_0} + K_\beta \beta, \quad (2)$$

где C_{x_β}, C_{x_0} — значения коэффициента C_x при косом и асимметричном натекании потока; β — угол натекания потока; K_β — коэффициент бокового обтекания, зависящий от формы кузова высокого прицепа. Чем меньше величина коэффициента K_β, тем лучше боковое обтекание легкового автопоезда с высоким прицепом.

В таблице приведена предлагаемая классификация легковых автопоездов по уровню обтекаемости, а также значения параметров C_{x_0} и K_β, что позволяет рассчитать величину C_{x_β} при различном угле натекания бокового ветра. Видно, что легковой автопоезд с обтекаемым высоким прицепом имеет наименьший коэффициент K_β, т. е. при воздействии бокового ветра он более эффективен, чем закругление фронтальных кромок и применение лобовых обтекателей на автомобиле-тягаче и высоком прицепе.

Итак, форма высокого прицепа оказывает решающее влияние на аэродинамические характеристики легкового автопоезда, его расход топлива и скоростные свойства. Следует отметить, что обтекаемая форма прицепа обеспечивает значительное снижение аэродинамического сопротивления легкового автопоезда при воздействии на него бокового ветра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Евграфов А. Н.** Аэродинамика автомобиля. М.: Изд. дом МГИУ, 2009. — 395 с.

ЛИАЗ для Московской области

"Группа ГАЗ" поставила ГУП МО "Мострансавто" — крупнейшему автомобильному перевозчику Московской области — 57 автобусов ЛИАЗ-5292 большого класса. Общая стоимость контракта превышает 280 млн руб.

Низкопольные автобусы ЛИАЗ-5292, рассчитанные на перевозку 105 пассажиров, оснащаются дизелями MAN, автоматической коробкой передач и мостами ZF. Машины изготовлены в специальной комплектации для Московской области. Автобусы оборудованы аппарелями, специальными местами для инвалидов-колясочников и кнопками вызова водителя.

В соответствии с пожеланием заказчика машины оснащены оборудованием ГЛОНАСС, маршрутоуказателями, электронным цифровым тахографом. В кабине водителя и салоне смонтированы шесть видеокамер, что позволяет избежать "мертвых зон" внутри салона.

Контракт на поставку 57 автобусов ЛИАЗ стал вторым в этом году контрактом "Группы ГАЗ" и "Мострансавто": в феврале "Группа ГАЗ" уже заключила контракт на поставку 29 низкопольных газовых автобусов ЛИАЗ-5292 экологического стандарта EEV Евро-5+ на сумму более 230 млн руб.

Пресс-служба "Группы ГАЗ"

УДК 656.132.039:004

В. А. Максимов, д-р техн. наук, проф., МАДИ, **С. В. Рощак**, канд. техн. наук, доц.,
П. В. Максимов, инж., ГУП "Мосгортранс"
E-mail: chizov_nik@mail.ru

НОРМАТИВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ ЛИАЗ-52922 В УСЛОВИЯХ ГУП "МОСГОРТРАНС"

В статье приведены нормативы технического обслуживания новых моделей городских автобусов ЛиАЗ-52922 в условиях ГУП "Мосгортранс".

Ключевые слова: *условия эксплуатации, конструкция автобусов, эффективная работа, трудоемкости работ.*

С 2005 г. в автобусные парки ГУП "Мосгортранс" начали поступать автобусы новых моделей, в частности, низкопольные автобусы семейства ЛиАЗ-5292. Данный подвижной состав приходит на смену автобусам ЛиАЗ-5256.25. Указанные автобусы существенно различаются по конструкции (другие двигатели, коробки передач, рулевые управления, тормозные механизмы и т. д.). Для эффективной работы автобусных парков-филиалов ГУП "Мосгортранс" необходимо создавать нормативную базу под данный подвижной состав. Опыт эксплуатации показывает, что для автобусов ЛиАЗ-5292 для стандартных условий, оговоренных Положением о ТО и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта (первая категория условий эксплуатации; базовые модели автобусов; умеренный климатический район и район с умеренной агрессивностью окружающей среды; пробег автобусов с начала эксплуатации 0,5—0,75 пробега до КР; эксплуатация на АТП, производящих ТО и ремонт 200—300 автобусов, составляющих три технологически совместимых группы) целесообразно устанавливать периодичность ТО-1 и ТО-2 в 10 и 20 тыс. км пробега, соответственно.

Особенности конструкции автобусов ЛиАЗ-5292 сказались и на распределении работ при техническом обслуживании (таблица). Анализ представленных данных указывает на:

1) снижение общей трудоемкости работ при техническом обслуживании (по ТО-1 на 25 %, по ТО-2 на 35,5 %, по СО на 23,2 %), а это в определенной степени облегчает труд ремонтных рабочих, уменьшает время нахождения автобуса в ТО и, как следствие этого, повышает работоспособность подвижного состава;

2) перераспределение трудоемкостей работ ТО между отдельными системами, узлами и агрегатами, что требует перегруппировки и частичного обновления трудовых и материальных ресурсов на предприятии, в частности, приобретения нового технологического и диагностического оборудования, оснастки и инструмента;

3) необходимость регулярной переподготовки и обучения персонала технической службы (мастера, механики, инженеры, ремонтные рабочие) особенно в области диагностирования новых моделей автобусов в силу усложнения конструкции и необходимости регулярно контролировать техническое состояние подвижного состава с возможностью удаления возникших в процессе эксплуатации ошибок в электронных системах управления.

Распределение работ технического обслуживания автобусов ЛиАЗ-5256.25 и ЛиАЗ-52922 по системам и агрегатам

Вид технического обслуживания	Вид работ по системам, узлам и агрегатам	Трудоемкость работ ТО автобуса ЛиАЗ-5256.25, чел.-мин	Трудоемкость работ ТО автобуса ЛиАЗ-52922, чел.-мин
ТО-1	Обслуживание двигателя	52,5	32,0
	Обслуживание коробки передач	40,0	6,0
	Обслуживание карданной передачи	10,0	6,5
	Обслуживание заднего моста	7,0	10,0
	Обслуживание рулевого управления	25,5	23,5
	Обслуживание передней оси	2,5	15,0
	Обслуживание тормозной системы	21,0	28,5
	Обслуживание ходовой части	36,0	27,0
	Обслуживание кузова	21,5	28,0
	Обслуживание электрооборудования	45,5	19,5
Итого		261,5	196,0
ТО-2	Обслуживание двигателя	220,5	215,5
	Обслуживание ГМП	44,0	39,0
	Обслуживание карданной передачи	38,5	14,5
	Обслуживание заднего моста	7,0	32,0
	Обслуживание рулевого управления	95,0	42,5
	Обслуживание передней оси	88,5	46,0
	Обслуживание тормозной системы	610,7	86,5
	Обслуживание ходовой части	61,5	171,5
	Обслуживание кузова	61,2	88,0
	Обслуживание электрооборудования	90,7	69,5
	Обслуживание системы отопления	16,5	13,0
	Смазочные, заправочные и очистительные работы	158,0	144,0
Итого		1492,1	962,0
СО	Обслуживание двигателя	805,0	806,0
Общая трудоемкость всех работ		2558,6	1964,0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Техническая** эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и допол. / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов и др. — М.: Наука, 2001. — 535 с.

КАМАЗ-5490 заинтересовал саратовских автоперевозчиков

"КАМАЗ" принял активное участие в выставке "Автомир. Саратов 2013", организованной при поддержке правительства Саратовской области и администрации города.

Выставленные образцы, среди которых особой популярностью пользовались новинка "КАМАЗа" магистральный седельный тягач КАМАЗ-5490 и перспективная модель автобетононасоса АБН-58153С на шасси КАМАЗ-6540, можно было посмотреть в самом центре Саратова, на Театральной площади. В рамках выставки были представлены региональные дилеры — поставщики автотранспортной техники, комплектующих и запчастей, масел, дополнительного оборудования.

Новый магистральный тягач КАМАЗ-5490 вызвал наибольший интерес у региональных автоперевозчиков. По итогам выставки, на покупку этих тягачей были сформированы первые заявки. С большим интересом было воспринято предложение ЛК "КАМАЗ" о предоставлении КАМАЗ-5490 в лизинг с удорожанием всего в 2 % годовых по проекту "Особенный".

Программа выставки включала серию интересных мероприятий — от тест-драйвов и конкурсов до круглого стола, на котором были подведены ее итоги.

Пресс-служба ОАО "КАМАЗ"

УДК 629.017

Е. В. Янчевская, аспирант МАДИ
E-mail: ev.jana88@rambler.ru

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В ШИНАХ НА ПРЕДСТОЯЩИЙ ПЕРИОД

Существующие методы формирования запасов на складах автотранспортного предприятия, как правило, не приводят к рациональным решениям. Основная причина заключается в том, что пополнение складов производится по остатку продукции без учета фактической динамики ее потребления. В качестве примера возьмем склад шин автобусного парка. В отдельные периоды шины здесь могут либо отсутствовать, либо наоборот — длительное время быть невостребованными. В материальном выражении затоваривание склада (излишек шин) может достигать 300—400 тыс. руб. Возникает неэффективное использование денежных средств.

В статье предложна методика определения остаточного ресурса каждой шины, находящейся в эксплуатации, и составления прогноза потребности в них на предстоящий период. Это позволяет обоснованно планировать срок поставки и рациональный объем заказываемой партии шин.

Ключевые слова: *шины, склад шин, затоваривание склада, остаточный ресурс, износ рисунка протектора, постепенные и внезапные отказы шин, рациональный объем поставки.*

В системе автомобильных пассажирских перевозок затраты на материально-техническое обеспечение транспортных средств одного автобусного парка находятся на уровне 100 млн руб. в год. К числу этих затрат, как правило, относят затраты на запасные части, топливо, материалы, шины. Согласно литературным источникам, значительное число исследований посвящено разработке рекомендаций по сокращению указанных затрат. Работы в основном шли по двум направлениям: управление расходами в эксплуатации и управление запасами на складе.

Большее внимание исследователи уделяют топливу и маслам, как наиболее весомой составляющей при нынешнем уровне цен на нефтяные продукты. Затраты на запасные части тоже поддаются управлению, но в последнее время в этой сфере проводится меньше исследований, что связано с определенной сложностью по разработке эксплуатационных норм их расхода.

Вся номенклатура материально-технических ценностей (МТЦ) проходит через склады. Укрупненно, с позиции планирования объемов (запаса) продукции, их можно распределить по трем уровням: склад завода-изготовителя, дилерские склады разной мощности, склады низового уровня — конечного потребителя. К последним относятся склады станций технического обслуживания и автотранспортных предприятий (рис. 1). По условиям рационального использования финансов предприятия, размер запаса МТЦ должен соответствовать размеру спроса.

Существующие подходы к управлению деятельности складов в большинстве случаев сводятся к планированию объемов запасов или сроков их пополнения. При этом следует отметить, что почти все исследования рассматривают склады среднего уровня. Планирование же запасов предусматривает

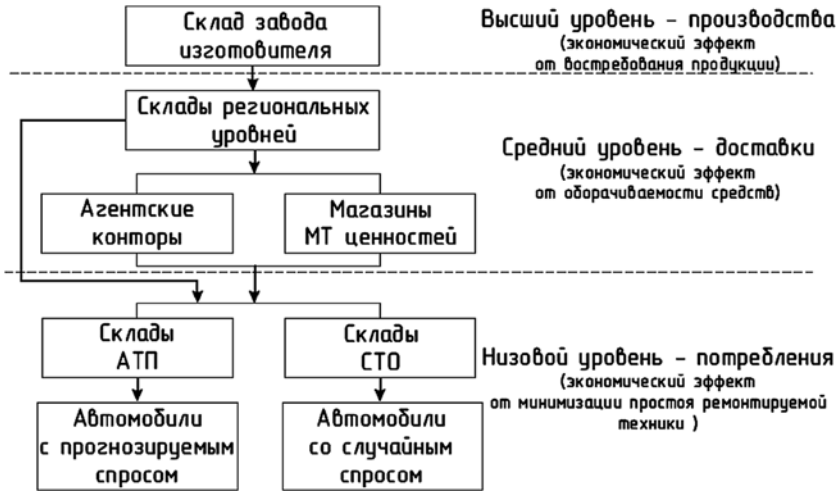


Рис. 1. Типы складов для хранения автомобильных материально-технических ценностей

накопление статистических данных о спросе с последующей их корректировкой согласно текущей ситуации. Ошибки в планировании приводят к ухудшению экономических показателей деятельности склада — объемов и быстроты оборачиваемости денежных средств, вкладываемых в очередные партии закупаемой продукции. От этого снижается доходность склада, его экономическая стабильность.

Планирование запасов складов низового уровня, как правило, проводится по тем же методикам. Но эти склады финансово зависят не от своей деятельности, а от деятельности предприятия в целом. Поэтому их основной задачей является недопущение отсутствия МТЦ, приводящее к простою транспортных средств АТП или к отказу клиенту в услугах станции обслуживания.

Данные обстоятельства приводят к тому, что служба снабжения предприятия старается затоварить склад как можно в больших объемах. Этим она (служба) даже упрощает свою деятельность — поставками заниматься можно реже, а на складе всегда будет требуемая продукция. Возникающее замораживание денежных средств не учитывается. Изменить такую ситуацию на данном этапе крайне сложно, так как техническая служба АТП не участвует в определении потребности в МТЦ — у нее нет механизма оперативного получения нужных сведений.

Для складов АТП планирование объемов и сроков поставок МТЦ следует проводить не по среднестатистической потребности и фактическому остатку (информация склада), а по прогнозу потребности в МТЦ на предстоящий временной интервал (информация технической службы). Для этого требуется иметь механизм расчета остаточного ресурса наиболее значимых элементов автомобилей, находящихся в эксплуатации.

Для всей номенклатуры запасных частей этот путь может оказаться труднореализуемым. Но для дорогостоящих элементов комплектации автомобиля он технически решаем и экономически оправдан. К числу таких элементов и относятся автомобильные шины.

Так, стоимость ходового комплекта шин автобуса или грузового автомобиля составляет 60—100 тыс. руб.; за год каждое коммерческое транспортное средство в среднем расходует 50—100 % комплекта шин; затраты на шины среднего по размерам автобусного парка находятся на уровне 10—15 млн руб. в год.

На автотранспортном предприятии больше нет элементов одной номенклатуры, на которые тратились бы такие средства.

Отметим, что шины имеют ряд специфических отличий, упрощающих практическую реализацию рассматриваемой проблемы:

— на крупных предприятиях существует система учета, отслеживающая пробег шин на каждом автомобиле;

— шины относятся к тем элементам транспортного средства, для которых установлены государственные технические параметры предельного состояния;

— техническое состояние шин можно оценивать визуально, органолептическим способом, что соответствует ГОСТ 51709;

— номенклатура шин в автобусных парках (да и на любом другом АТП) во много раз меньше, чем номенклатура запасных частей.

За последние 10—15 лет рынок шин оказался насыщенным множеством моделей как отечественного, так и зарубежного производства. Но сведений о ресурсах шин нет: производители считают эту информацию конъюнктурно уязвимой, а потому — закрытой.

Движение шин через склад отражается в складской документации по двум позициям (потокам): приход и расход. В первом случае это размер партии, поступившей на склад на календарную дату, во втором — количество шин, выданное со склада, для установки на автомобили в момент потребности.

Примером может служить информация по одному из автобусных парков Москвы за календарный год (рис. 2).

Взаимосвязь данных, показанных на рис. 2, по их интегральным значениям позволяет оценить величину запаса шин на складе, которая может быть нулевой или положительной (рис. 3).

Наложение на количественный ряд шин (левая ордината рис. 3) стоимостного показателя (правая ордината рис. 3) позволяет сопоставлять баланс приобре-

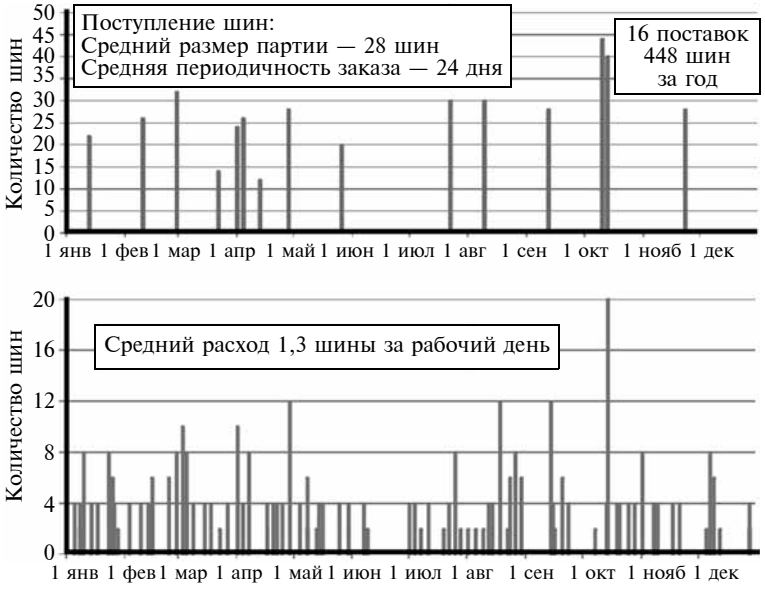


Рис. 2. Поставка (а) и выдача (б) шин со склада (на примере наиболее используемом в автобусном парке типоразмере шин)

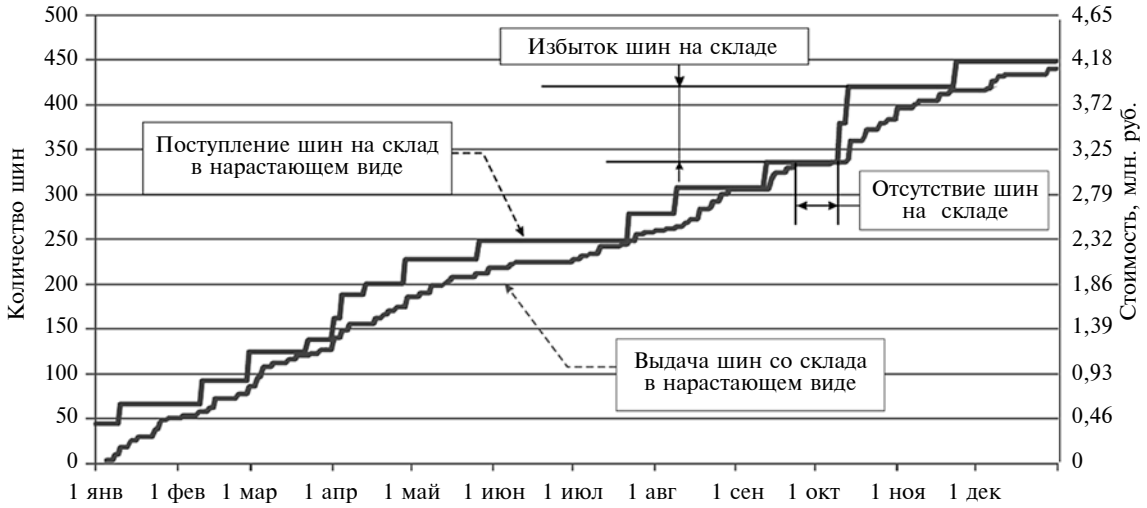


Рис. 3. Динамика движения шин через склад в течение года

таемых и выдаваемых шин. При нулевой его величине есть опасность простоя автомобиля вследствие отсутствия шин. Положительная же величина свидетельствует о наличии запаса шин. Но чрезмерный запас приводит к замораживанию финансовых средств предприятия.

Из рис. 3 видно, что затоваривание склада в течение года происходит регулярно. В отдельные периоды на складе находилось невостребованных шин на сумму 300—400 тыс. руб.

Экономический ущерб от такой ситуации очевиден, что обосновывает необходимость разработки методики управления запасом шин на складе.

Для правильного определения параметров заказываемой партии шин (объем и дату поставки) надо иметь механизм достоверного прогнозирования количества шин, которое востребует эксплуатация в предстоящий календарный период.

Исходными данными для решения этой задачи являются характеристики эксплуатации шин, а именно:

— ресурсная характеристика снятия шин с эксплуатации по износу протектора;

— вероятностная характеристика снятия шин с эксплуатации по другим (внезапным) причинам.

Рис. 5. Измерение остаточной глубины рисунка протектора

Ресурсную кривую (рис. 4) для каждой модели шин и марки автобуса с точностью, достаточной для решения данной производственной задачи, техническая служба автобусного парка может сравнительно быстро получить, проведя измерения остаточной глубины протектора шин (рис. 5),

Рис. 4. Зависимость износа рисунка протектора

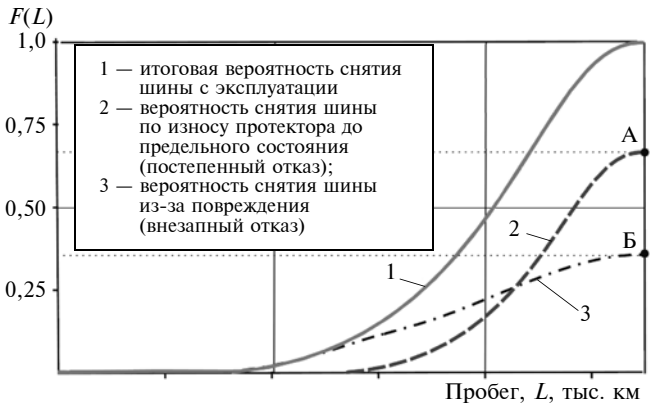


Рис. 6. Вероятности изъятия шины из эксплуатации

находящихся на автомобилях, с привязкой к их пробегу.

Зависимость, показанная на рис. 4, характеризует постепенную наработку на отказ шины. По ней легко можно прогнозировать остаточный ресурс протектора любой шины, находящейся в эксплуатации, и ожидаемую дату ее замены. Но за этот временной промежуток может произойти внезапный отказ шины (порез, разрыв, вздутие, расслоение и т. п.), при котором, согласно действующему Регламенту, эксплуатация шины недопустима. Поэтому прогноз по постепенному отказу следует скорректировать по вероятностным характеристикам внезапного отказа.

По базе данных группы учета шин в автобусном парке по шинам, снятым с эксплуатации в прошедший период, строятся вероятностные характеристики (рис. 6). Для этого достаточно собрать сведения о 75—100 шинах — фактический пробег и причины снятия (повышенный износ протектора или какая-либо "внезапность").

Точки А и Б на рис. 6 показывают, что в целом по исследуемому количеству шин примерно 64 % было снято вследствие износа протектора, а 36 % — вследствие внезапных отказов.

Дальнейшие действия технической службы представлены алгоритмом на рис. 7.

При осмотре шин в процессе планового технического обслуживания следует фиксировать остаточную глубину $t_{ост}$ рисунка протектора и индивидуальный номер тех шин, которые имеют износ протектора более 50 %. Этими действиями можно гарантировать, что шины по износу протектора прослужат на транспортном средстве еще примерно два периода между ТО. Тогда и будет составлен точный прогноз потребности в шинах на ближайший период и примерный — на перспективу.

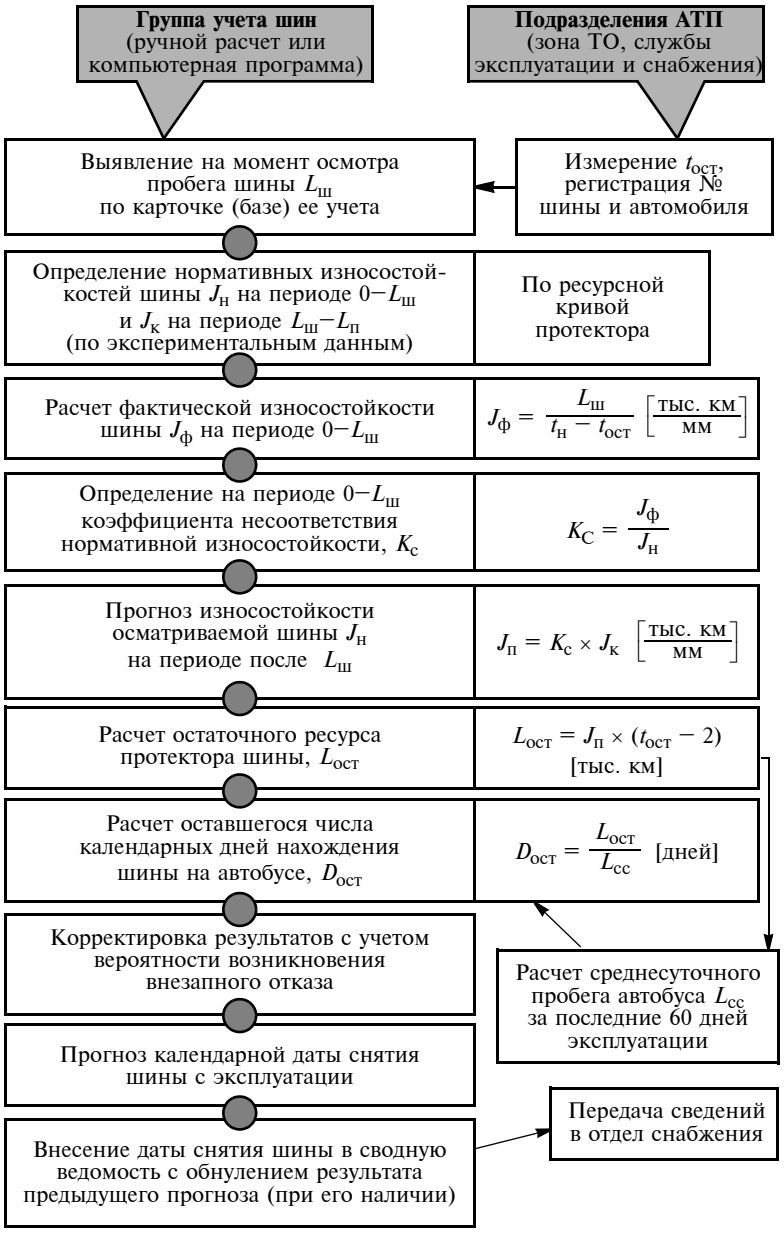


Рис. 7. Алгоритм определения даты снятия шины с эксплуатации

Практикой выявлено, что эти действия удобнее проводить при ТО-2, когда шины сняты с автомобиля и удобны для осмотра (см. рис. 5).

Затем по величине $t_{ост}$ по ресурсной кривой (см. рис. 4) следует определить остаточный ресурс среднестатистической шины (тыс. км), а по пробегу шины на дату осмотра рассчитать фактическую интенсивность износа протектора конкретной шины. Это позволит с высокой достоверностью определить остаточный ресурс протектора осматриваемой шины (постепенный отказ).

Следующим этапом является корректировка остаточного ресурса с учетом вероятностной характеристики (см. рис. 6, кривая *3*) снятия шины с эксплуатации по внезапному отказу. В итоге будет определен остаточный расчетный ресурс, осматриваемой шины до момента снятия с автомобиля. При делении данного ресурса на среднесуточный пробег автобуса, на который шина установлена, определяется дата снятия ее с эксплуатации.

Действуя по изложенной методике (см. рис. 7), техническая служба автобусного парка прогнозирует количество шин, которое по датам на заданном временном промежутке потребуется снять с автомобилей. Полученные сведения являются основой для формирования на складе обоснованного размера заказываемой партии шин и даты ее отгрузки.

УДК 608.4

В. В. Багров, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
Д. Ю. Графов, А. В. Десятов, А. В. Духов, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
К. А. Кутербеков, **Т. Н. Нурахметов**, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева
E-mail: markov@power.bmstu.ru

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАТОПЛЕНИЯ ТВЕРДОПОЛИМЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ПУТЕМ СНЯТИЯ ПОТЕНЦИОДИНАМИЧЕСКИХ КРИВЫХ

В статье представлен метод определения степени затопления топливного элемента как характеристики, влияющей на основные показатели эффективности работы топливного элемента. Приведено теоретическое описание исследуемого явления, описание экспериментальной установки, результаты проведенных исследований и выводы на основе полученных данных.

Ключевые слова: *топливный элемент, твердополимерный электролит, твердополимерная мембрана.*

В последнее время большой интерес вызывает использование на автомобилях, особенно на городском транспорте, топливных элементов — устройств, генерирующих электроэнергию непосредственно на борту транспортного средства за счет процесса, обратного гидролизу. При этом в ходе реакции водорода и кислорода образуется вода и вырабатывается электрический ток, используемый для привода колес автомобиля. В качестве водородсодержащего топлива, как правило, используется либо сжатый водород, либо метанол. Преимуществами топливных элементов является их высокий КПД, низкий уровень шума, нулевой или близкий к нулевому уровень выбросов вредных веществ, возможность использования возобновляемых энергетических ресурсов. Однако существуют и серьезные недостатки.

В настоящее время стоимость крупномасштабного производства топливно-элементных систем пока значительно превышает стоимость, которую необходимо иметь для конкурентоспособности с поршневыми ДВС. Существует и еще ряд проблем, которые необходимо решить при создании автомобилей с топливными элементами. Среди них — недостаточная долговечность компонентов этих элементов, большое время подготовки их к работе, отсутствие инфраструктуры для получения, хранения и распределения водорода или метанола и др. Вместе с тем ведущие двигателестроительные фирмы продолжают исследования в данном направлении.

В частности, фирма *Daimler-Chrysler* ассигновала 700 млн евро на разработку топливных элементов, работающих на водороде. По заданию правительства Германии в этом же направлении проводят исследования фирмы *BMW*, *MAN* и *Volkswagen*. Евросоюзом планируется к 2020 г. перевести около 5 % автомобильного парка (11,7 млн автомобилей) на водород, включая оснащение автомобилей топливными элементами.

В статье представлен метод определения степени затопления топливного элемента как характеристики, влияющей на основные показатели эффективности работы топливного элемента.

Использование твердополимерных ионообменных мембран в водородно-кислородных топливных элементах обеспечивает высокие энергетические и эксплуатационные характеристики [1]. С переходом на водород, который сжигается в топливном элементе, возникает ряд проблем, одной из которых является затопление топливного элемента реакционной водой.

В водородно-воздушных топливных элементах, использующих в качестве электролита полимерную протонопроводящую мембрану, с обеих сторон мембраны располагаются каналы, по которым про-

качивается с одной стороны водород, с другой воздух, так что мембрана является одной из стенок этих каналов. На поверхности мембраны протекают химические реакции, которые можно представить в виде одной реакции:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O. \quad (1)$$

Согласно реакции (1) работа топливного элемента сопровождается непрерывным образованием воды, которая должна уноситься в виде пара тем же самым воздушным потоком, из которого поступает необходимый для реакции (1) кислород. Если скорость уноса воды с поверхности мембраны будет превышать скорость ее образования в ходе реакции, то мембрана обсохнет и потеряет свои электролитические свойства [2, 3]. В обратном случае, мембрана через какое-то время покроется сплошной водяной пленкой, доступ кислорода к мембране затруднится, и топливный элемент также перестанет работать. Для нормальной работы твердополимерного топливного элемента необходимо, чтобы скорость уноса воздушным потоком водяного пара с поверхности мембраны была равна скорости образования воды в топливном элементе в ходе химической реакции.

Предлагаемый метод определения степени затопления топливного элемента основан на следующем положении. В результате накопления в газодиффузионном слое (ГДС) воды уменьшается активная рабочая площадь элемента, что вызывает падение мощности топливного элемента при заданных температуре, давлении и расходе. Следовательно, измеряя падение мощности во времени, можно определить затопление топливного элемента.

Исследование проводилось на топливном элементе с размером активной площади 225 см^2. Анод и катод исследуемой электрохимической ячейки — платинированная сажа, нанесенная на обе поверхности протонпроводящего полимера (твердополимерная мембрана фирмы *PaxiTech Nafion 112* и твердополимерная мембрана фирмы *FuMA-Tech GmbH Fumea ME0704-377*). В качестве ГДС использовалась углеграфитовая гидрофобная ткань. Потенциодинамические кривые снимались на осциллографе PCS 500. При исследовании степени затопления топливного элемента изменялась только температура увлажненного воздуха. Остальные параметры оставались постоянными — давление водорода и воздуха 0,2 МПа, расход воздуха 250 л/ч, температура ячейки топливного элемента 60 °С.

В качестве критерия для определения степени затопления топливного элемента выбрано время выхода потенциала топливного элемента на постоянное значение, при заданной плотности тока и температуре. Выбор этого значения зависит от нагрузки батареи и скорости накопления воды при постоянном расходе воздуха и постоянной температуре увлажнителя.

По результатам выполненных прямых измерений параметров испытаний построены графики зависимости напряжения, и плотности тока на ячейки от времени (рис. 1) и вольтамперные характеристики (рис. 2).

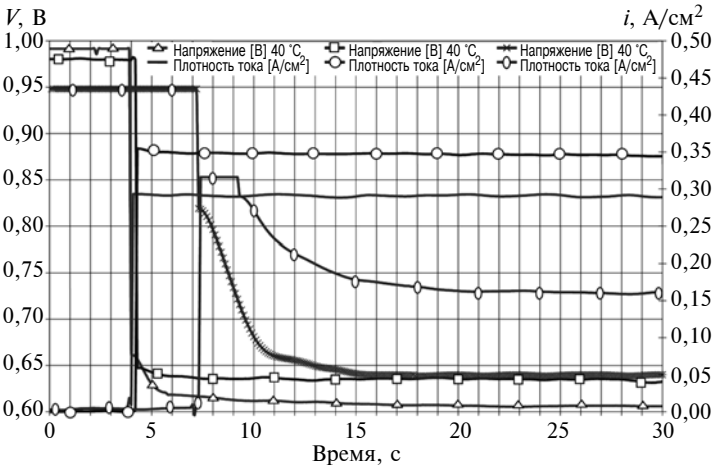


Рис. 1. Потенциодинамические зависимости включения постоянного сопротивления в цепь при различных температурах увлажнителя воздуха (ячейка 150 × 150 мм, температура 60 °С, давление H_2 и воздуха 1,6 атмосферы, расход воздуха 1,2 м^3/ч)

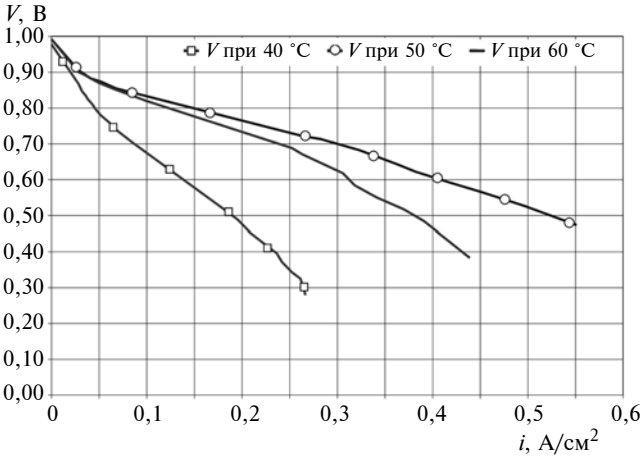


Рис. 2. Вольтамперные характеристики в зависимости от температуры увлажнителя

Анализ полученных графических зависимостей показывает:

— при включении сопротивления в цепь происходит падение напряжения ячейки с постепенным выходом на постоянное значение. Время выхода потенциала на постоянное значение зависит от плотности тока ячейки при постоянном сопротивлении; на рис. 1 можно видеть, что с увеличением температуры увлажнителя с 50 до 60 °С, время выхода потенциала и плотности тока на постоянное значение увеличилось с 2—3 сек при 50 °С до 15 сек при 60 °С;

— на рис. 2 видно ухудшение вольтамперных характеристик топливного элемента при увеличении температуры увлажнителя с 50 до 60 °С;

— дальнейшее увеличение температуры увлажнителя воздуха отрицательно влияет на работу топливного элемента.

На рис. 1 видно, что при данной нагрузке оптимальная влажность для топливного элемента с твердополимерной мембраной фирмы *PAXITECH Nafion 112* соответствует температуре увлажненного воздуха, равной 50 °С.

Таким образом, на основании анализа результатов экспериментальных исследований топливного элемента с анодной подачей увлажненного воздуха на двух различных мембранах показана зависимость вольтамперных характеристик мембран от влажности воздуха. Также исследованы потенциодинамические, вольтамперные характеристики и энергетические характеристики твердополимерных топливных элементов, их Фарадеевский кпд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Подшивалов С. А., Иванов Э. И.** и др. Энергетические установки космических аппаратов. Под общей редакцией Невяровского Д. Д. и Викторова В. С. — М.: Энергоиздат, 1981. 223 с.
2. **Коровин Н. В.** Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. — М.: МЭИ, 2005. 280 с.
3. **Багров В. В., Десятов А. В., Казанцева Н. Н., Камруков А. С., Козлов Н. П., Корнилова А. А., Ксенофонтов Б. С., Кубышкин А. П., Кужечкин И. П., Кулешов Н. В., Нагель Ю. А., Черкасов С. Г.** Вода: эффекты и технологии. Под редакцией А. В. Десятова. — М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2010. 488 с.
4. **Якименко Л. М.** Электрохимические процессы в химической промышленности: производство водорода, кислорода, хлора и щелочей. М.: Химия, 1981. 280 с.
5. **Водород.** Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Справочник. — М.: Химия, 1989.
6. **Антропов Л. И.** Теоретическая электрохимия. — М.: Высшая школа, 1969.
7. **Коровин Н. В.** Общая химия. — М.: Высшая школа, 2005.
8. **Кулешов Н. В., Григорьев С. А., Фатеев В. Н.** Электрохимические технологии в водородной энергетике. — М.: МЭИ, 2007.
9. **Коровин Н. В.** Электрохимическая энергетика. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
10. **Юстин Э., Винзель А.** Топливные элементы. — Пер. с нем. М.: Мир, 1964.
11. **Фильштих В.** Топливные элементы. — Пер. с нем. М.: Мир, 1968.
12. **Hydrogen.** Bellona Report published by Bellona Foundation 2002.
13. **Могилевский А.** Fuel Cells перевод статьи "Газоэнергетическая газета", Япония, Токио, от 19.01.2000.

КАМАЗы: новое обозначение

Автомобили нового модельного ряда, которые готовятся компанией "КАМАЗ" к серийному производству, получат четырехзначные обозначения, аналогичные европейским стандартам.

Пока смена индекса произойдет у моделей КАМАЗ-5490, КАМАЗ-65206 и КАМАЗ-65207. Они будут выходить с конвейера под другими индексами — М1842, Т2642 и Т2640, соответственно. Как пояснил главный конструктор проекта "Создание перспективных семейств автомобилей КАМАЗ" Евгений Макаров, буквенные индексы означают семейство автомобилей, первые два числа — полную массу, а две последние — мощность двигателя.

По мнению Макарова, новые обозначения автомобилей несут более понятный смысл как для покупателей, так и для партнеров, поскольку прежняя индексация машин уже не в полной мере отражала предназначение автомобиля. В то же время, чтобы избежать в будущем ненужной путаницы, на "КАМАЗе" решили, что на рестайлинговых моделях КАМАЗ, которые продолжают сходить с конвейера и уже стали брендовыми, индексация останется прежней.

Пресс-служба ОАО "КАМАЗ"

Цикл статей

УДК 629.3

Н. Е. Кокодеева, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.",
А. В. Кочетков, д-р техн. наук, проф., soni.81@mail.ru
Л. В. Янковский, канд. техн. наук, доц., **Г. Н. Волков**, инж., ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет"

ПРЯМОЙ МЕТОД РАСЧЕТА УСКОРЕНИЯ КОЛЕСА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИИ НЕРОВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ (метод И. П. Рабиновича)

Автомобильная дорога помимо накопленных неровностей и поврежденностей в свой состав включает и искусственные неровности, такие как "лежачий полицейский", деформационные швы мостовых сооружений, сфрезерованные шумовые участки дорожного покрытия, катафоты, наклонные участки ограждений-отбойников, разметка дороги термопластиком. Процесс взаимодействия колеса транспортного средства и перечисленных неровностей предполагает и общий методический подход учета геометрии неровностей и скорости транспортного средства при расчете ускорений колеса для оценки коэффициента динамичности. Рассмотрено применение прямого метода расчета ускорения колеса с учетом геометрии неровностей (метод И. П. Рабиновича).

Ключевые слова: *неровность, колесо, транспортное средство, ускорение, геометрия, расчет, дорожное покрытие.*

(Рисунки на 2-, 3- и 4-й полосах обложки)

Учет увеличения динамического воздействия нагрузки в результате накопления неровностей и определение коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности автомобильных дорог необходимы при расчете дорожных одежд на стадиях проектирования и реконструкции автомобильных дорог общего пользования, а также при решении ряда прикладных задач (например, при расчете материального ущерба при проезде тяжеловесного и крупногабаритного транспорта) на стадии эксплуатации автомобильных дорог общего пользования.

Учет увеличения динамического воздействия нагрузки в результате накопления неровностей и определение коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности выполнен на основе прямого расчетного метода оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия. Иначе этот метод называется методом И. М. Рабиновича — полковника артиллерийского управления Красной армии, которого помнят строительные механики.

Изучение взаимовлияния динамических характеристик транспортного средства и автомобильной дороги — это сложный процесс, при анализе которого можно оценить показатели динамического воздействия транспортных средств на конструкцию автомобильной дороги, а также установить, какова же степень влияния ровности дорожного покрытия на колебания конструкции транспортного средства.

Автомобильная дорога помимо накопленных неровностей и поврежденностей, в свой состав включает и искусственные неровности, такие как "лежачий полицейский", катафоты, деформационные швы мостовых сооружений, сфрезерованные шумовые участки дорожного покрытия, наклонные участки отбойников, разметка дороги термопластиком,

элементы железнодорожных и трамвайных переездов и др.

Процесс взаимодействия колеса транспортного средства и перечисленных неровностей дорожного покрытия предполагает и общий методический подход учета геометрии неровностей и скорости транспортного средства.

В справочной литературе имеются данные о нагрузках на ось или нагрузках на колесо, которые передаются на дорожное покрытие от транспортных средств, и которые относятся к статическому давлению на горизонтальную площадку. Однако при движении транспортных средств касательные и вертикальные воздействия от колес на конструкцию автомобильной дороги имеют динамический характер и переменны по величине, направлению и по статистическим показателям (дисперсии и коэффициенту вариации).

Для первичного анализа числового ряда (цифровой модели дорожного покрытия) приемлема обобщенная модель, в которой отклонение X_n измеряемой величины для n-го измерения от своего номинального значения представляется суммой трех слагаемых: детерминированной составляющей l_n (представляемая как уклон), переменной случайной составляющей μ_n с коррелированными значениями (выделяемая составляющая ровности) и собственно случайной составляющей ξ_n (типа дискретного белого шума, представляемая, в том числе как макрошероховатость): $X_n = l_n + \mu_n + \xi_n$ [1].

Выделение двух первых l_n, μ_n составляющих возможно с помощью типовых алгоритмов, случайная составляющая непрогнозируема.

Детерминированную составляющую l_n можно рассматривать как сумму начального случайного смещения уровня $l_0^{(k)}$ и линейного тренда $l^{(k)}n$, вызванного суммарным действием систематических возмущающих факторов

$$l_0 = l_0^{(k)} + l^{(k)}n,$$

где k — индекс реализации; $l^{(k)}$ — скорость изменения текущего математического ожидания (кусочно-линейная аппроксимация). Принимается, что коэффициенты $l_0^{(k)}$ и $l^{(k)}$ имеют различные априорно неизвестные значения.

Природа возникновения периодической коррелированной составляющей μ_n вызвана изменяющимися возмущающими воздействиями, а составляющей ξ_n — совокупным действием собственных случайных составляющих возмущающих факторов.

Можно принять, что последовательность ξ_n распределена по закону нормального распределения с $M\{\xi_n\} = 0$ и $G_{\xi_n} = \text{const}$, не зависящей от n. Последовательность μ_n может быть представлена, например, в виде аппроксимации по гармоническому закону (законам) или последовательностью стационарных коррелированных величин с нулевым математическим ожиданием и корреляционной функцией

$$K_{\mu_n}(\tau) = G^2_{\mu_n}\rho_{\mu_n}(\tau),\ \tau = 1, 2, ...,$$

где τ — целочисленный сдвиг (на количество циклов обработки), $\rho_{\mu_n}(\tau)$ — нормированная корреляционная функция, $G^2_{\mu_n}$ — дисперсия переменной случайной составляющей, $M\{\mu_n\} = 0$, $n \gg 1$.

Рассматривается задача разделения числового ряда на детерминированную, коррелированную и случайную составляющие. В основе ее решения лежит спектральный метод оценки параметров мгновенного распределения.

Отклонения от линейной составляющей имеют вид: $x_n^0 = x_n - l_n = \xi_n - \upsilon_n$.

Выделение линейной составляющей целесообразно проводить методом наименьших квадратов. При таком способе получения реализации x_n^0 ее математическое ожидание $M\{x_n\} = 0$. Величина $\{x_n^0\}$ чаще всего распределена по нормальному закону. Проверку такой гипотезы целесообразно проводить по критерию Пирсона.

Дисперсия последовательности $\{x_n^0\}$ является суммой дисперсий систематической и случайной составляющих: $G_x^2 = G_\nu^2 + G_\xi^2$.

Случайные процессы ξ_n и υ_n являются стационарными с нулевыми математическими ожиданиями $M\{\xi_n\} = 0$, $M\{\upsilon_n\} = 0$ [1].

Из условия некоррелированности последовательности $\{\xi_n\}$ следует, что задача выделения систематической составляющей аналогична задаче выделения случайного шума, обусловленного случайными помехами. Такие задачи решаются методом линейной фильтрации. Выделение составляющих цифровой модели автомобильной дороги на основе вычислительного моделирования иллюстрируется примером Чванова-Стекольщикова [1].

Пример. Файл содержит N значений (рис. 1): $N = 1070$.

Осуществляется поиск и исправление выбросов данных. Параметр устанавливает границы допуска для значений ряда: $k = 5$. Значения параметра берут из диапазона от 3 до 6. Чем больше значение, тем шире допустимые границы (рис. 2).

Решение задачи позволяет выделять низкочастотные (составляющую ровности) и высокочастотную (макрошероховатость) составляющие дорожного покрытия (рис. 3).

Данные, полученные с прицепного оборудования передвижной дорожной диагностической лаборатории, накапливаются в программных файлах. На мониторе компьютера отображаются данные о ровности в реальном времени и показатель по предыдущим участкам, приведенный к 1 км.

Длина участков, на которых обрабатываются данные, назначается оператором перед началом проведения измерений. Типовой вид графика текущего значения ровности представлен на рис. 4. По умолчанию должны выставляться значения 50 м или 1 км.

Данные выводятся на монитор в виде графиков с накоплением по участкам или в виде диаграммы значений (рис. 5).

Приведение ровности на отдельных участках автомобильной дороги к ровности на км производится по формуле:

$$R_{км} = R_L(1000/L_{уч}),$$

где $R_{км}$ — ровность на км, см/км; R_L — ровность на участке, см; $L_{уч}$ — задаваемая длина участка, м.

Далее приводится (метод И. П. Рабиновича) незаслуженно забытый прямой метод оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия, который в подробном виде заключается в следующем [2].

На рис. 6 схематически изображены профиль сечения неровности, ограниченный кривой OPA, и траектория $C_1CNC_2C_3$ центра C колеса.

На участках CC_1 и C_2C_3 траектория горизонтальна, на участке CNC_2 представляет собою кривую, эквидистантную кривой OPA и отстоящую от нее на расстоянии R, где R — радиус колеса.

Переход от горизонтального участка к криволинейному происходит резко, в этой точке траектория имеет две касательные. Плавный переход имел бы место в том случае, если бы между неровностью и дорожным покрытием была бы плавная переходная кривая с радиусом кривизны, большим радиуса R колеса [2].

Если обозначить координаты произвольной точки P поверхности неровности через x, y, то центр C колеса, когда P будет служить точкой касания, займет положение N, характеризуемое координатами:

$$y_N = y + R\cos\alpha,\ x_N = x - R\sin\alpha, \qquad (1)$$

где α — угол наклона касательной в точке P кривой OPA к оси x.

Зная уравнение кривой OPA можно найти уравнение траектории CNC_2, дважды продифференцировав выражения y_N, находят ускорение по вертикальному направлению и вертикальную проекцию давления колеса.

Это приводит к выражениям вида:

$$y = f(x). \qquad (2)$$

Чтобы найти вертикальное ускорение центра колеса, соответствующее любому моменту качения колеса по поверхности неровности (но не моменту вступления на нее или схода с нее), выражают его в функции от радиусов кривизны колеса и поверхности неровности [2].

Первый обозначается через R; второй (радиус кривизны кривой OPA) — через r. Величина R — постоянна, величина r может быть и переменной.

Рассматривается кривая OPA как неподвижная полодия, а окружность колеса — как подвижная; точка P касания служит мгновенным центром вращения колеса (рис. 7) [2].

Скорость точки N:

$$\upsilon_N = \frac{\nu}{\cos\alpha}, \qquad (3)$$

где $\upsilon = \text{const}$.

Определяются угловые скорость ω и ускорение $\frac{d\omega}{dt}$ колеса:

$$\omega = \frac{\upsilon_N}{R} = \frac{\upsilon}{R\cos\alpha}; \qquad (4)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\upsilon\sin\alpha}{R\cos^2\alpha}\frac{d\alpha}{dt}. \qquad (5)$$

Из рис. 7 видно, что:

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{d\beta}{dt}, \qquad (6)$$

т. е. угловая скорость вращения касательной равна и противоположна угловой скорости вращения радиуса кривизны r.

Тогда

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{\upsilon_N}{R+r} = \frac{\upsilon}{(R+r)\cos\alpha}. \quad (7)$$

Формула (5) принимает вид:

$$\frac{d\omega}{pt} = -\frac{\upsilon^2 \sin\alpha}{R(R+r)\cos^3\alpha}. \quad (8)$$

Отрицательный знак показывает, что в восходящей части траектории, где $\sin\alpha > 0$, угловое ускорение — отрицательно, т. е. направлено в сторону, противоположную направлению угловой скорости ω; в нисходящей же части угловое ускорение положительно.

Скорость u перемещения точки касания по неподвижной полодии (так называемая скорость смены полюсов) находят следующим образом.

Из способа *Hartmanna* для построения радиуса кривизны траекторий или из теоремы Савари известно, что вектор u является скоростью точки P прямой NM, вращающейся около точки M (центра кривизны неподвижной полодии в точке P). Поэтому [2]:

$$u = \upsilon_N \frac{r}{R+r} = \frac{\upsilon r}{(R+r)\cos\alpha}. \quad (9)$$

Определено ускорение точки P обода колеса. Это ускорение всегда направлено по лучу NPM и равно:

$$\omega u = \frac{\upsilon^2 r}{R(R+r)\cos^2\alpha}. \quad (10)$$

Ускорение любой точки N неизменяемой плоской системы, движущейся в своей плоскости, представляется в виде геометрической суммы ускорений точки P и вращения точки N относительно P. Последнее раскладывается на нормальное и тангенциальное. На рис. 8 показаны три слагающие ускорения точки N [1].

Складывая векторы ускорений, направленные по линии NP, и считая ее направленной вниз, получают:

$$\overline{NP}\omega^2 - \omega u = R\omega^2 - \omega u =$$

$$= \frac{\upsilon^2}{R\cos^2\alpha} - \frac{\upsilon^2 r}{R(R+r)\cos^2\alpha} = \frac{\upsilon^2}{(R+r)\cos^2\alpha}. \quad (11)$$

Положительный знак дроби показывает, что вектор направлен вниз. Перпендикулярный к нему вектор имеет величину:

$$\overline{NP}\frac{d\omega}{dt} = \frac{\upsilon^2 \sin\alpha}{(R+r)\cos^3\alpha}. \quad (12)$$

Перед выражением не ставится знак минус, так как направили этот вектор в сторону $\frac{d\omega}{dt}$, противоположную угловой скорости ω.

Проекция суммарного ускорения точки N на вертикаль:

$$j = \frac{\upsilon^2}{(R+r)\cos^2\alpha}\cos\alpha + \frac{\upsilon^2 \sin\alpha}{(R+r)\cos^3\alpha}\sin\alpha =$$

$$= \frac{\upsilon^2}{(R+r)\cos^3\alpha}(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) = \frac{\upsilon^2}{(R+r)\cos^3\alpha}. \quad (13)$$

Вертикальное ускорение j, выведенное при условии, что колесо катится по выпуклому контуру, направлено вниз. Так как угол α невелик и заключен между пределами $\pm\frac{\pi}{2}$, то знак $\cos\alpha$ сохраняется без изменения на всем протяжении контура.

При восходящем и при нисходящем движении колеса ускорение направлено вниз, а сила инерции — вверх. Весь период качения колеса по поверхности неровности есть период облегченного давления колеса на пролетное строение. Ускорение и сила инерции по мере движения колеса изменяются обратно пропорционально величине $(R + r)\cos^3\alpha$; если сечение неровности представляет собой сечение круга, то ускорение уменьшается по закону $\frac{1}{\cos^3\alpha}$ до достижения высшей точки траектории; здесь оно достигает своего минимума, затем во время нисходящего движения колеса снова увеличивается по тому же закону [2]. Ни в какой точке оно не равно нулю. Как отмечает И. П. Рабинович, представление, что при восходящем движении ускорение направлено вверх, оказывается неправильным.

Формула показывает, что радиус кривизны колеса R и препятствия r не играют роли каждый в отдельности; величина ускорения зависит лишь от их суммы. Большое колесо, катящееся по профилю большой кривизны (малого радиуса), и малое колесо, катящееся по профилю малой кривизны, дают один и тот же эффект, если только в обоих случаях сумма $R + r$ — одна и та же.

При данном радиусе r сила инерции будет иметь тем меньшее значение, чем больше будет радиус кривизны R. Колеса большего диаметра являются более выгодными, так как их движение сопровождается меньшими силами инерции, это вызывает и меньший динамический эффект [2].

При данном радиусе колес R силы инерции будут уменьшаться с увеличением радиуса r. Высота препятствия сама по себе не играет никакой роли; важна лишь кривизна его поверхности.

При $r = \infty$, т. е. при очертании профиля по прямой, получается $j = 0$, что вытекает и из условия, что $\upsilon = \text{const}$. При $r = 0$ ускорение достигает своего наибольшего значения, возможного при качении колеса по выпуклому профилю. Это получается, когда профиль имеет острие K, как на рис. 9.

Во время огибания колесом этого острия:

$$j = \frac{\upsilon^2}{R\cos^3\alpha}, \qquad (14)$$

где α изменяется от α_1 через нуль до α_2.

Сила инерции и в этом случае не изменяет своего знака и остается конечной и неравной нулю.

Формула (14) справедлива и при наличии переходной кривой от профиля неровности к настилу. Такая переходная кривая имеет смысл в том случае, если по абсолютной величине ее радиус кривизны $[r] > R$; в противном случае колесо не сможет катиться по ней. Она обращена выпуклостью в обратную сторону (по направлению к настилу), нужно считать, что $r < 0$. Обозначив — $r = r'$, получают [2]:

$$j = \frac{\upsilon^2}{(r' + R)\cos^3\alpha}. \qquad (15)$$

Во время движения по переходной кривой ускорение направлено вверх, а давление колеса при этом превышает статическое. При переходе через точку касания обеих кривых, несмотря на плавный характер их взаимного примыкания, ускорение и сила инерции сразу меняют свой знак на обратный. Плавность перехода не устраняет удара.

Формула (15) представляет собой решение вопроса для случая движения колеса в углублении или впадине пути. Формула (15) показывает влияние скорости υ. Ускорение — пропорционально квадрату этой скорости. Легко определить скорости, при которых происходит подпрыгивание колеса. До тех пор, пока $j < g$, колесо будет оказывать на поверхность неровности некоторое давление. При $j = g$ колесо будет свободно падать, как брошенное под углом к горизонту тело не оказывает никакого давления. Это соотношение может получиться в отдельных точках траектории колеса, а при специальном подборе очертания поверхности неровности — даже на всем его протяжении. При таких значениях υ, для которых получается $j > g$, колесо, отделившись от поверхности неровности (подпрыгнув), полетит по параболической траектории, как тело, брошенное под углом к горизонту.

Значение скорости υ, определенное из неравенства:

$$\frac{\upsilon^2}{(R + r)\cos^3\alpha} \geqslant g,$$

$$\upsilon \geqslant \sqrt{g(R + r)\cos^3\alpha}. \qquad (16)$$

Подпрыгивание имеет место на всем протяжении криволинейной траектории, если подставить $\cos\alpha = 1$, что оправдывается в верхней точке траектории:

$$\upsilon \geqslant \sqrt{g(R + r)}. \qquad (17)$$

При скорости υ поступательного перемещения, равной или превышающей эту предельную скорость, центр колеса взлетит выше своего обычного уровня на высоту h, равную высоте полета тела, брошенного свободно с начальной скоростью $\frac{\upsilon}{\cos\alpha_0}$, где α_0 — начальный угол наклона криволинейной траектории. Вертикальная проекция скорости равна $\upsilon\,\text{tg}\,\alpha_0 - gt$, можно найти, что:

$$h' = \frac{\upsilon^2\text{tg}^2\alpha_0}{2g}. \qquad (18)$$

Время, необходимое для прохода через препятствие, выражается следующим образом: при медленном движении, когда колесо не подпрыгивает:

$$T = \frac{b}{\upsilon}, \qquad (19)$$

где b — ширина препятствия. При скорости, превышающей предельную, колесо подпрыгивает и падает на дорожное покрытие на расстоянии большем, чем b.

Приравняв нулю вертикальное перемещение:

$$y = \upsilon t\,\text{tg}\,\alpha_0 - \frac{gt^2}{2} = 0, \qquad (20)$$

найдем:

$$T = \frac{2\upsilon\,\text{tg}\,\alpha_0}{g}. \qquad (21)$$

Рассматриваются начальный и конечный моменты приподнимания колеса с дорожного покрытия. При соблюдении условий абсолютной жесткости дорожного покрытия, а также неровности и ускорение колеса в моменты встречи с препятствием и вступления на дорожное покрытие. Когда колесо покидает препятствие, ускорение направлено вверх и равно бесконечности. Сила

инерции также равна бесконечности. Но оба эти момента времени имеют бесконечно малую продолжительность. Имеется два удара, направленных вниз [2].

Эффект удара представляется при помощи кинетической энергии. Колесо (вместе с опирающейся на него массой), бегущее по горизонтальному настилу, имеет кинетическую энергию $\frac{m\upsilon^2}{2}$ (если пренебречь энергией вращения колеса). После встречи с дорожным покрытием оно имеет скорость $\frac{\upsilon}{\cos\alpha_0}$, направленную по касательной к траектории. Приобретенная в результате удара кинетическая энергия вертикальной слагающей движения:

$$L = \frac{m}{2}\left(\frac{\upsilon^2}{\cos^2\alpha_0} - \upsilon^2\right) = \frac{m\upsilon^2 \mathrm{tg}^2\alpha_0}{2}. \qquad (22)$$

При сходе с препятствия теряется кинетическая энергия. При несимметричном очертании происходит одно из двух: если скорость превышает предельную, то колесо свободно падает по параболической траектории, и в момент падения на дорожное покрытие энергия удара выражается полученной формулой. Если же движение происходит более медленно, и колесо в момент схода касается профиля, то будет [2]:

$$L = \frac{m\upsilon^2 \mathrm{tg}^2\alpha_0'}{2}, \qquad (23)$$

где α_0 — угол наклона касательной к горизонту в последней точке касания колеса и препятствия.

Энергия удара L тождественна с энергией падения той же массы m с высоты:

$$h' = \frac{L}{mg} = \frac{\upsilon^2}{2g}\mathrm{tg}^2\alpha_0'. \qquad (24)$$

Формулы представлены в общем виде и годятся при любом выпуклом очертании поверхности неровности. В случае же кругового очертания сечения неровности, можно выразить угол α_0 в функции от основных размеров [2].

Из треугольника *COK* получено:

$$\cos\alpha_0 = \frac{R+r-a}{R+r} = 1 - \frac{a}{R+r}, \qquad (25)$$

откуда:

$$\mathrm{tg}\alpha_0 = \frac{\sqrt{a(2R+2r-a)}}{R+r-a}, \qquad (26)$$

после чего формула (24) принимает вид:

$$h' = \frac{\upsilon^2}{2g}\frac{a(2R+2r-a)}{(R+r-a)^2}. \qquad (27)$$

Уточним расчетную схему (рис. 10).

Видно, что величина удара пропорциональна квадрату скорости и зависит от отношения между суммой радиусов кривизны и высотой a препятствия [2]. Если обозначить $\frac{R+r}{a} = \mu$, то формула (27) превратится в следующую:

$$h' = \frac{\upsilon^2(2\mu-1)}{2g(\mu-1)^2}. \qquad (28)$$

Зависимость h' от μ имеет гиперболический вид. При увеличении μ от 1 до ∞ величина h', а вместе с ней и сила удара уменьшается от ∞ до 0.

При данных размерах препятствия (т. е. размерах r, a) увеличение радиуса колес влечет за собой уменьшение силы удара.

В процессе исследований авторами разработан программный модуль имитационного моделирования процесса динамического взаимодействия колеса транспортного средства и дорожного покрытия с единичными и накопленными неровностями согласно методике И. П. Рабиновича в среде МАТЛАБ.

Результаты работы программного комплекса приведены на рис. 11.

Заключение. Величина удара при наезде колеса транспортного средства на неровность пропорциональна квадрату скорости и зависит от отношения между суммой радиусов кривизны и высотой препятствия.

Достоинством предложенной методики является возможность получать численные ряды ускорений для любых сочетаний неровностей в виде коротких средних и длинных волн, от которых можно просто переходить к численной оценке коэффициентов ровности и динамичности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кочетков А. В., Чванов А. В.** Цифровое моделирование геометрических и макрошероховатых параметров автомобильной дороги / Компьютерные исследования и моделирование // 2012. Том 4. № 4. — С. 837—844.
2. **Рабинович И. М.** Действие пехоты, кавалерии и артиллерии на мосту / Действие нагрузки на мосты под обыкновенную дорогу // Институт инженерных исследований. Выпуск № 1/91. — М.: СССР-ТРАНСПЕЧАТЬ-НКПС. № 23. 1929. — С. 8—34.

Цикл статей

УДК 621.7/8

Б. Б. Анохин, канд. техн. наук, **С. П. Аржанухина**, канд. техн. наук,
ФГУП "РОСДОРНИИ",
Т. В. Самодурова, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет,
А. В. Кочетков, д-р техн. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет
E-mail: soni.81@mail.ru

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Рассматриваются принципы составления прогнозов состояния дорожного покрытия, а также рекомендации по сбору, обработке, хранению и использованию гидрометеорологической информации, специализированных прогнозов Росгидромета и специализированных прогнозов состояния поверхности дорожного покрытия для организации и проведения дорожных работ.

Ключевые слова: *прогноз погоды, гидрометеорологическая информация, дорожное покрытие, зимнее содержание, термокартирование.*

Направления совершенствования нормативно-методического обеспечения работ по зимнему содержанию автомобильных дорог в настоящее время получили свою актуальность в тематике применения специализированных метеорологических прогнозов. Отраслевой дорожный методический (ОДМ) документ "Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия" в развитие этой тематики был разработан ФГУП "РОСДОРНИИ", ЗАО "Минимакс-94", ВГАСУ, г. Воронеж.

ОДМ разъясняет и определяет принципы составления прогнозов состояния дорожного покрытия, содержит рекомендации по сбору, обработке, хранению и использованию гидрометеорологической информации, специализированных прогнозов Росгидромета и специализированных прогнозов состояния поверхности дорожного покрытия для организации и проведения дорожных работ [1].

На образование зимней скользкости на дорожном покрытии влияют:

- метеорологические (атмосферные) факторы (температура и влажность воздуха, осадки, их вид, количество и интенсивность выпадения);
- геофизические и ландшафтные (окружение по маршруту дороги) факторы (географическая высота, наличие растительности, водоемов), которые влияют на температурный режим поверхности дорожного покрытия и определяют условия накопления влаги, переноса и накопления снега.

Для детального учета погодных и дорожных условий все многообразие зимней скользкости на дорожном покрытии можно разделить на четыре основных вида: гололедица, черный лед, гололед, снежный накат. Классификация и условия образования различных видов зимней скользкости приведены в таблице. Для организации работ по борьбе с зимней скользкостью важно учитывать метеорологические условия, предшествующие образованию каждого вида скользкости и наблюдающиеся после ее образования, а также иметь прогноз температуры воздуха на ближайшие 3—4 ч.

Планирование работ по борьбе с зимней скользкостью рекомендуется осуществлять, исходя из прогнозируемых погодных условий, определяющих состояние дорожного покрытия и условия дорожного движения. Разделяют следующие виды специализированной метеорологической информации и прогноза состояния поверхности дорожного покрытия.

Классификация различных видов зимней скользкости дорожных покрытий и условия их образования

Вид зимней скользкости	Условия образования				
	Температура воздуха	Температура покрытия	Осадки, их вид	Состояние покрытия	Дополнительные условия
Гололедица	Ниже 0 °С	Ниже 0 °С	Любые, выпадающие при температуре воздуха выше –3 °С	Мокрое	Выпадение осадков предшествует образованию скользкости
	Выше 0 °С	Ниже 0 °С	Жидкие	—	—
	От 0 до –5 °С	Ниже 0 °С	Мокрый снег	—	Количество осадков, зафиксированное метеостанцией (Q = 0 мм)
Черный лед	То же	Ниже 0 °С, ниже точки росы	Нет	Сухое	—
Гололед	Ниже 0 °С	Ниже 0 °С	Переохлажденные жидкие (дождь, морось)	Любое	—
Снежный накат	От 2 до 0 °С	—	Твердые (снег, мокрый снег)	—	—
	От 0 до –6 °С	—	То же	—	Интенсивность снегопада не менее 0,6 мм/ч
	От –6 до –10 °С	—	То же	—	Относительная влажность воздуха не менее 90 %

Прогнозы погоды общего назначения, предоставляемые Росгидрометом, содержат оценку погоды в регионе. Данный вид прогноза может быть использован дорожными организациями для ориентировочного прогноза состояния поверхности дороги на ближайшее время. Планирование мероприятий и проведение работ по содержанию дорог должно осуществляться на основе гидрометеорологических прогнозов.

Специализированный прогноз должен включать в себя следующие данные: температуру воздуха; изменение температуры воздуха на ближайшие 3—4 ч; относительную влажность воздуха; изменение относительной влажности воздуха на ближайшие 3—4 ч; интенсивность и вид осадков; скорость и направление ветра; температуру поверхности дорожного покрытия; изменение температуры поверхности дорожного покрытия на ближайшие 3—4 ч. Прогноз должен составляться не менее чем на 3 ч. И должен выполняться для районов пролегания автомобильной дороги или ее участков, которые входят в зону ответственности дорожной организации.

Заказ прогнозов осуществляется на платной основе в региональном подразделении Росгидромета или другой уполномоченной организации, обслуживающей территории, по которым проходит автомобильная дорога. В заказе должен быть указан способ передачи специализированного прогноза от регионального подразделения Росгидромета в дорожное подразделение. Если дорога проходит по территориям, для которых должны быть составлены несколько специализированных прогнозов разными подразделениями Росгидромета и его организациями, заказчик должен определить форму согласования этих прогнозов.

Предупреждения предоставляются потребителям по заказу в территориальных организациях Росгидромета и должны быть разосланы заблаговременно. Штормовое предупреждение считается действующим до момента получения: окончания срока действия штормового предупреждения; уведомления об отмене штормового предупреждения; следующего штормового предупреждения. В случае отсутствия специализированных прогнозов допускается использование прогнозов, предоставляемых для отдельных географических пунктов (городов, поселков), расположенных на автомобильной дороге или вблизи нее.

Информацию о фактической погоде и прогнозах можно получать из открытых Интернет-источников. Отдельные Интернет-источники предоставляют метеорологическую информацию по предвари-

тельному заказу для указанных в заказе географических пунктов. Официальная метеорологическая информация содержится только на официальных сайтах Росгидромета. Оценка возможности возникновения различных видов зимней скользкости на поверхности дорожного покрытия при наличии специализированного прогноза производится сотрудниками подразделений дорожной службы по таблице.

Анализ метеорологической информации, предоставленной Росгидрометом или другими организациями и использование специализированной информации, позволяет значительно повысить достоверность: метеорологической информации; прогнозов возникновения опасных дорожных явлений. Более полную информацию о зонах распространения осадков можно получать в результате обработки данных, поступающих от метеорологических локаторов (МРЛ). Метеорологические локаторы имеют в своем распоряжении Росгидромет и службы метеорологического обеспечения авиации. Информация предоставляется в ручном и автоматическом режимах, как правило, на платной основе. Для получения информации от МРЛ в автоматическом режиме в дорожной организации должен быть установлен АРМ.

В случае отсутствия в регионе МРЛ можно использовать информацию о зонах распространения осадков, поступающую с метеоспутников. Однако анализ данных со спутников требует определенного опыта для получения достоверной информации об осадках в наблюдаемом регионе. Для грубой оценки допускается использование спутниковых снимков.

Для получения оперативной информации о метеорологических параметрах, необходимых для расчета прогноза состояния дорожного покрытия, должны использоваться пункты дорожного метеоконтроля, построенных на основе автоматических дорожных метеорологических станций (АДМС) с набором датчиков, измеряющих параметры атмосферы и датчиками состояния поверхности дорожного покрытия.

Набор датчиков в составе АДМС определяется: требованиями математических моделей алгоритмов и методов, которые используются системой метеорологического обеспечения для расчета прогнозов параметров погоды; экономической целесообразностью применения датчиков определенного вида в месте установки АДМС; необходимой оперативностью реагирования на изменение метеорологических условий и параметров состояния поверхности дорожного покрытия.

Обязательным для всех АДМС является наличие в их составе следующих датчиков: температуры воздуха; относительной влажности воздуха; температуры поверхности дорожного покрытия; температуры под поверхностью дорожного покрытия на глубине 4—7 см; состояния поверхности дорожного покрытия. Размещение АДМС вдоль автомобильной дороги должно определяться исходя из ландшафтных и климатических особенностей района прохождения автомобильной дороги; наличия подключения к системам передачи данных и системам энергоснабжения; особенностями термопрофиля автомобильной дороги на данном участке.

Расположение мачты АДМС относительно обочины дороги, датчиков на мачте и датчиков состояния поверхности дорожного покрытия определяется математическими моделями, методами и алгоритмами, используемыми для расчетов параметров погоды и расчета прогноза состояния поверхности дорожного покрытия, необходимой точностью прогнозов этих параметров. Мачта должна устанавливаться на расстоянии не более 6 м от обочины дороги. Датчики, установленные на мачте, рекомендуется располагать следующим образом: датчик температуры и влажности воздуха на высоте от 2 до 4 м; датчик направления и скорости ветра на высоте от 5 до 6 м; датчик осадков на высоте от 5 до 6 м; датчик метеорологической дальности видимости на высоте от 4 до 6 м.

Датчик состояния поверхности дорожного покрытия (ДВПД) устанавливается в верхний слой дорожного покрытия таким образом, чтобы верхняя плоскость датчика дороги совпадала с поверхностью дорожного покрытия. В этом случае жидкие или твердые отложения, которые присутствуют на поверхности, будут попадать на верхнюю плоскость датчика ДВПД, на которой расположены его чувствительные элементы. В зависимости от ширины проезжей части устанавливается различное количество датчиков ДВПД. Датчики температуры поверхности дорожного покрытия и температуры под его поверхностью могут быть совмещены с ДВПД или устанавливаться отдельно. Они размещаются на поверхности дорожного покрытия и на глубине от 4 до 7 см и предназначены для измерения температуры в этих точках. Датчики должны иметь надежный тепловой контакт с материалом дорожного покрытия.

Расчет прогноза параметров погоды, температур дорожного покрытия и состояния дорожного покрытия производится по математическим моделям, алгоритмам и методам. Фактические и накопленные данные должны использоваться для расчета

прогноза изменения метеопараметров в местах установки АДМС и на участках дороги между ними.

Математическая модель должна включать в себя следующую информацию: данные о термопрофиле дороги (данные термокартирования); топогеодезические данные дороги; ландшафтно-климатические данные.

Математическая модель должна обеспечивать: заблаговременный расчет параметров окружающей среды и параметров состояния поверхности дорожного покрытия; заблаговременную оценку расчетного коэффициента сцепления на всем протяжении маршрута дороги.

На основании анализа установленных метеорологических параметров и тенденций их изменения разрабатывается прогноз об изменениях состояния дорожного покрытия. Для получения прогноза высокой степени оправдываемости информация от пунктов дорожного метеоконтроля должна поступать периодически с постоянным интервалом времени: в зимнее время интервал должен составлять 30 мин, в летнее время — до 3 ч.

Прогноз параметров окружающей среды вблизи АДМС должен обновляться после каждого цикла опроса АДМС и получения от нее информации. Типичный вид представления информации от пунктов дорожного метеоконтроля после обработки данных и расчета прогноза по указанным параметрам окружающей среды представлен на рис. 1.

Пунктирная линия (*1*) на рисунке разделяет область текущих данных и область расчетных данных; полоса "Д" (*2*) представляет информацию о неблагоприятных условиях на поверхности автомобильной дороги.

Прогноз параметров окружающей среды должен предсказывать возможность появления скользкости на поверхности дорожного покрытия не менее чем за 3 ч до возникновения этого явления.

Дорожные организации при подготовке метеоинформации должны использовать: информацию от Росгидромета; информацию от других организаций, имеющих лицензию Росгидромета, предоставляющих прогностическую информацию; информацию от патрульных машин ДЭП; информацию от дорожной информационной технологической системы или отдельных ее элементов.

На основании полученных данных должен производиться анализ изменения отдельных элементов погоды и тенденций их изменения на ближайшие 3—4 ч. Затем проводится совместный анализ полученной гидрометеорологической информации применительно к схеме дороги, на которой выделены опасные места ("холодные пятна", спуски и подъемы дороги, повороты и перекрестки, места концентрации ДТП).

На основании анализа параметров погоды и тенденций их изменения можно сделать заключение о возможности возникновения зимней скользкости на автомобильной дороге.

Информацию от дорожных метеорологических систем следует учитывать в качестве основной при подготовке прогноза и разработке плана мероприятий по зимнему содержанию автомобильной дороги. Погодные условия оказывают влияние на условия

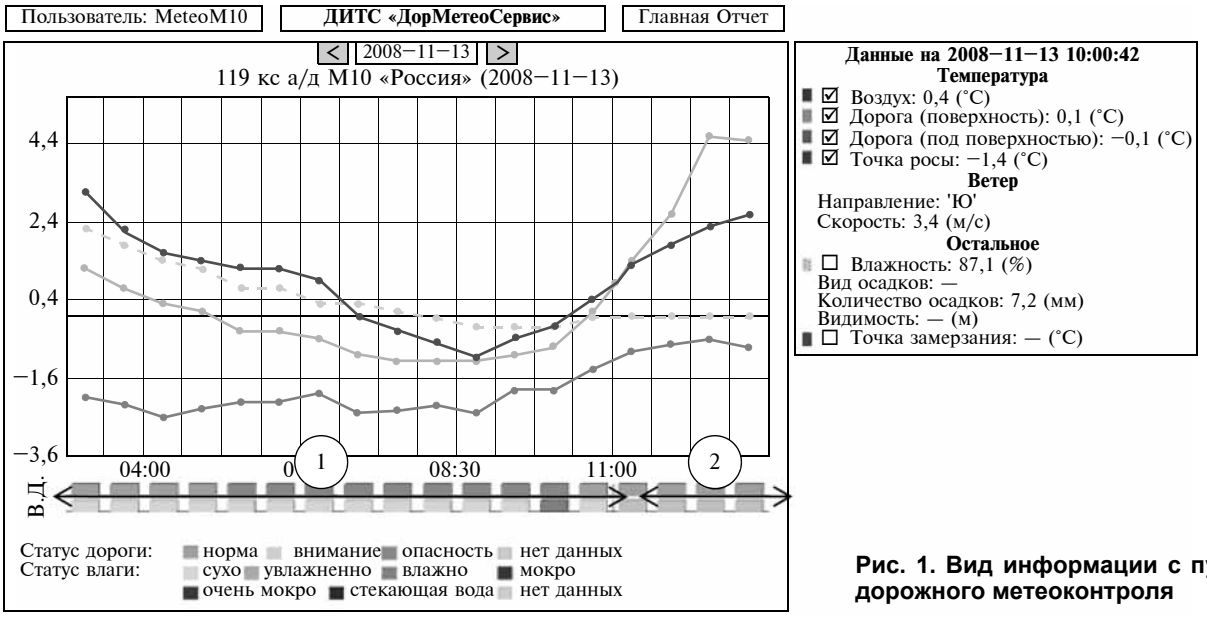


Рис. 1. Вид информации с пунктов дорожного метеоконтроля

движения транспортных средств и проведение работ по содержанию дорог. Предложены критерии степени влияния метеорологических факторов на условия движения и критерии степени влияния погодных условий на состояние дорожного покрытия.

Перечень и критерии неблагоприятных, а также опасных метеорологических явлений для организаций дорожного хозяйства должны определяться в договоре о предоставлении гидрометеорологической информации между организацией, предоставляющей эту информацию, и дорожной организацией, и зависят от климатических, метеорологических, ландшафтных особенностей района пролегания дороги.

При оценке времени выработки решения, подготовки и проведения работ по нейтрализации неблагоприятных погодных явлений в зоне ответственности дорожного подразделения, необходимо учитывать составляющие:

— время получения информации: от Росгидромета; от других организаций, имеющих лицензии Росгидромета, предоставляющих прогностическую информацию; от ДИТС АСМО (автоматизированная система метеорологического обеспечения), пунктов дорожного метеоконтроля или отдельных АДМС; от патрульных машин и сотрудников дорожного подразделения, находящихся на дороге;

— время, необходимое для обработки информации;

— время, необходимое для принятия решения (в зависимости от характера прогноза состояния дорожного покрытия решение на выполнение мероприятий по содержанию дороги должно включать в себя: время начала работ; адреса и протяженность участков дороги, подлежащих обработке; тип противогололедного материала; расход ПГМ для каждого участка автомобильной дороги, подлежащего обработке);

— время, необходимое для передачи решения в производственный отдел или другое производственное подразделение;

— время на подготовку дорожной техники и доставку ее от места стоянки до места производства работ;

— время производства работ.

При выполнении работ по оценке состояния дорожного покрытия (оценке коэффициента сцепления) используются прогнозы погоды общего назначения, специализированный прогноз, разработанный по заказу дорожной организации, данные пунктов дорожного контроля, оборудованных АДМС и видеокамерами. Рекомендуется использовать информацию, получаемую от МРЛ для определения зон (территории) распространения осадков. Более точные данные дает датчик осадков, входящий в состав АДМС. Совместное использование данных от датчика осадков и данных об осадках, полученных от МРЛ, предоставляют достаточно точную картину о продолжительности и количестве выпавших на поверхность автомобильной дороги и прогнозируемых осадках.

Алгоритм составления прогноза при отсутствии оперативной информации от АДМС. При наличии в дорожной организации только специализированной метеорологической информации для расчета прогнозов возникновения скользкости на поверхности дорожного покрытия можно использовать алгоритм производственно-технологических предупреждений (ПТП).

Составление прогноза в случае, когда в имеющихся прогнозах указано отсутствие осадков, есть угроза возникновения скользкости, используется следующий алгоритм:

$$Y = -0{,}170T_{\text{в}} - 0{,}071W + 5{,}659, \qquad (1)$$

где Y — величина скользкости; $T_{\text{в}}$ — температура воздуха, °С; W — относительная влажность воздуха, %.

Зависимость (1) — уравнение прямой линии на плоскости в системе координат ($T_{\text{в}}$, W), которая изображена на рис. 2.

Она разделяет значения параметров $T_{\text{в}}$ и W на классы "скользкость" и "без скользкости" таким образом, что по знаку функции (1) можно прогнозировать отсутствие или наличие гололедицы. Сочетание параметров, для которых знак функции будет положителен, возможно, и в зонах, где образование гололедицы невозможно физически, т. е. при низких значениях относительной влажности воздуха и положительных температурах воздуха. Для ПТП будем использовать рабочую зону графика, которую рассчитаем по интегральным функциям теоретиче-

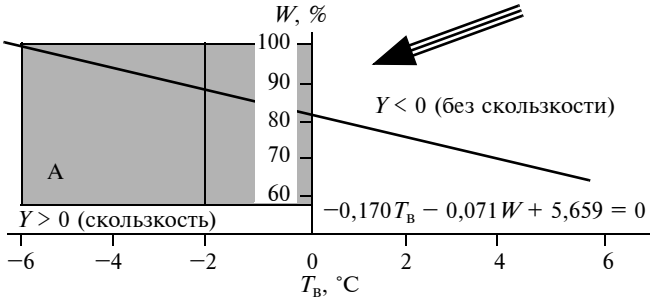


Рис. 2. Геометрическая интерпретация ПТП образования гололедицы

ских законов распределения случайных величин. Границы рабочей зоны с 95 % обеспеченностью для выбранных параметров составят:

$$-1{,}8 \leqslant T_{\text{в}} \leqslant 0{,}0; \quad 60 \leqslant W \leqslant 100. \qquad (2)$$

Из-за остатков хлоридов, покрытие может оставаться влажным и при более низких температурах. Обработка данных о минимальных температурах воздуха в дни с мокрым покрытием показала, что этот диапазон составляет

$$-6{,}0 \leqslant T_{\text{в}} \leqslant -0{,}5, \qquad (3)$$

следовательно, границы рабочей зоны по оси температур воздуха могут быть расширены. Рабочая зона графика выделена прямоугольником А.

Несмотря на то что ряд параметров, влияющих на образование гололедицы, не учтен явно в уравнении (1), пользоваться графиком нужно в том случае, если дорожное покрытие дороги мокрое, и прогнозируется следующая тенденция изменения метеорологических параметров (по данным прогноза Росгидромета или другой организации): рост атмосферного давления; понижение температуры воздуха; понижение относительной влажности воздуха. Последнее условие изображено стрелкой, показывающей направление изменения параметров при их переходе в рабочую зону, в которой происходит разделение двух классов "гололедица" и "без гололедицы" с помощью прямой линии, описываемой уравнением (1).

Для случая гололеда и твердого налета (при прогнозировании осадков) функция для двух метеорологических параметров имеет вид:

$$Y = 0{,}092T_{\text{в}} + 0{,}104W - 9{,}142 \qquad (4)$$

и может быть представлена графиком (рис. 3).

Рабочей зоной графика является зона наиболее вероятных значений параметров в момент образования скользкости данных видов. Диапазоны их изменения получены с помощью интегральных функций, рассчитанных по законам распределения с 95 % надежностью:

$$-5{,}2 \leqslant T_{\text{в}} \leqslant 2{,}0; \quad 87 \leqslant W \leqslant 100.$$

Пользоваться данным графиком нужно в тех случаях, когда при морозной погоде с температурой воздуха ниже –6 °С прогнозируются: повышение температуры воздуха; выпадение жидких осадков; падение атмосферного давления; повышение относительной влажности воздуха.

Последнее условие изображено стрелкой, показывающей направление изменения параметров при образовании данных видов скользкости.

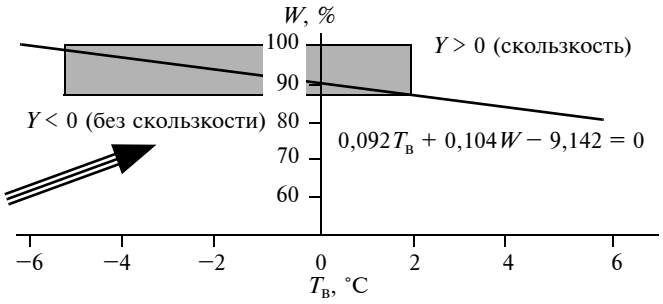


Рис. 3. Геометрическая интерпретация ПТП образования гололеда

Зависимости, изображенные на графиках (см. рис. 2 и 3), вычислены по метеорологическим параметрам, зафиксированным в момент возможного начала образования скользкости. Чтобы получить ПТП обледенения дорожного покрытия с их помощью, необходимо сначала спрогнозировать температуру и относительную влажность воздуха на срок заблаговременности прогноза, используя их текущие значения из полученных данных общего прогноза. Для составления прогноза этих параметров на время не более 4 ч можно использовать линейный закон, используя данные о средней скорости изменения этих параметров. При наличии АСМО на дороге оценка состояния дорожного покрытия производится по данным, получаемым в автоматическом режиме: от дорожных метеорологических станций; от постов видеоконтроля.

АСМО или ее элементы собирают, накапливают и предоставляют данные о фактической погоде и параметрах поверхности дорожного покрытия.

Видеосистемы предоставляют изображение поверхности дорожного покрытия и используются для качественного анализа его состояния.

Прогноз параметров погоды, состояния поверхности дорожного покрытия и оценка расчетного коэффициента сцепления (трения) производится в системе АСМО в два этапа:

Первый этап — прогнозирование параметров погоды и параметров состояния поверхности дорожного покрытия в месте установки АДМС. Прогноз первого этапа рассчитывается не менее чем на 3 ч с шагом не более 1 ч. Прогноз содержит числовые значения: температуры воздуха; относительной влажности воздуха; температуры поверхности дороги; температуры под поверхностью дороги.

Второй этап — прогнозирование для участков поверхности дороги, находящихся между местами установки АДМС. Для расчета данного типа прогнозов рекомендуется применять локальную мате-

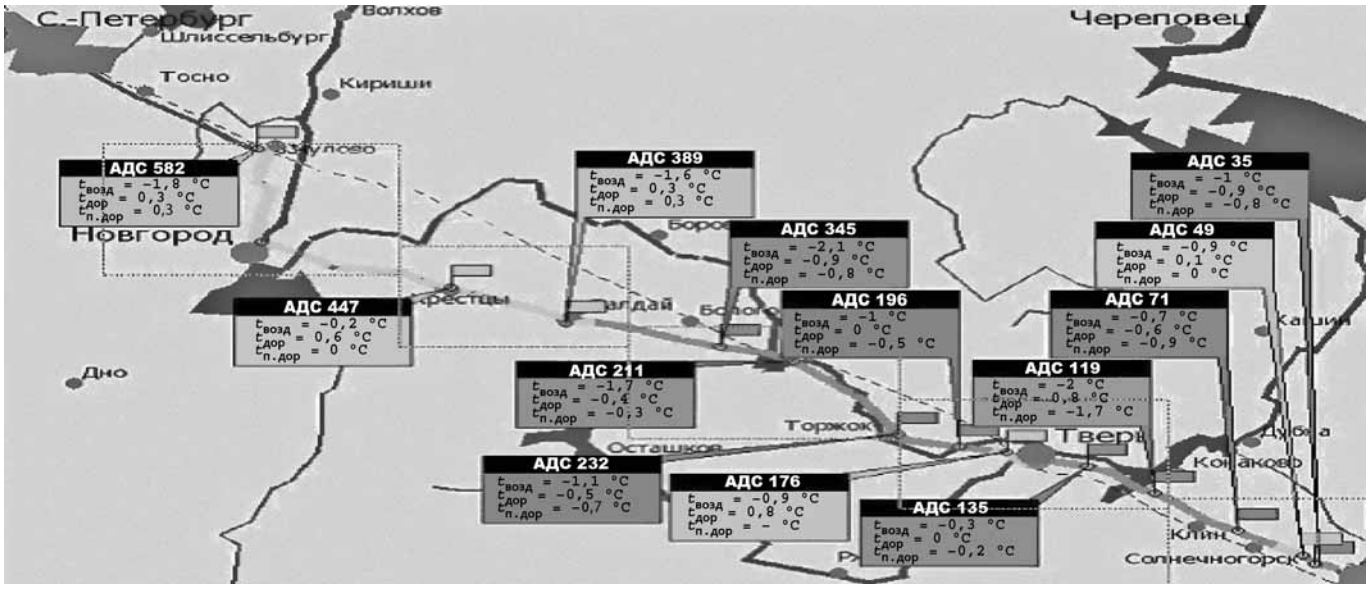


Рис. 4. Прогноз состояния поверхности дороги между АДМС на 4 ч

матическую модель, которая должна заключать в себе подробное описание ландшафтных, климатических и геодезических особенностей участков территории прохождения дороги, данные о термокартировании (термопрофиле) участка поверхности дорожного покрытия, для которого производится расчет.

Результаты расчета прогноза в АСМО должны быть представлены в наглядной форме на стилизованной карте. Прогноз кодируется цветом и отображается на линии маршрута дороги. Пример представления прогноза приведен на рис. 4. Красным цветом выделены участки дороги с ожидаемыми опасными явлениями в течение срока прогноза (не менее 3 ч), зеленым — участки, где опасные явления не прогнозируются в течение срока прогноза, желтым цветом — участки, на которых прогнозируемые параметры погоды и прогнозируемые параметры состояния поверхности дорожного покрытия находятся на границе критических значений, а тенденции их изменения указывают на то, что следует ожидать возникновение опасных явлений в течение ближайшего времени после истечения срока действующего прогноза.

Прогнозирование параметров погоды и параметров поверхности дорожного покрытия осуществляется на срок 3 и более часов.

Прогноз параметров погоды и параметров поверхности автомобильной дороги для места установки АДМС (первый этап) рассчитывается после окончания каждого цикла получения данных от АДМС, для каждой АДМС отдельно. Прогноз параметров погоды и параметров поверхности дорожного покрытия рассчитываются для участка автомобильной дороги (второй этап) после окончания цикла получения данных от АДМС, расположенных в одной ландшафтной зоне. Возможна установка дистанционных датчиков состояния поверхности дорожного покрытия.

Такие датчики, основанные на принципе спектроскопического измерения, позволяют определять наличие на поверхности дорожного покрытия: воды, льда, слякоти, снега или обледенения. Датчик позволяет определять наличие первых кристаллов льда до того, как поверхность автомобильной дороги становится скользкой. Наличие воды может также служить предупреждением о гидропланировании. Датчик устанавливается на отдельной стойке рядом с автомобильной дорогой или как дополнение к дорожной метеостанции. Места расположения АДМС или дистанционных датчиков состояния поверхности дорожного покрытия рекомендуется наносить на схему автомобильных дорог ОУДХ.

На основании анализа текущих и прогностических данных, а также ландшафтных, климатических и геофизических данных рекомендуется оценивать расчетный коэффициент сцепления и степень опасности участков автомобильной дороги для движения транспортных средств.

Для распространения данных наблюдений АДМС на большую территорию, рекомендуется проведение температурного картографирования сети дорог (термокартирование). Температурный профиль дороги рассчитывается относительно мест установки дорожных датчиков. Разность температур позволяет выявить места с пониженной температурой дорожно-

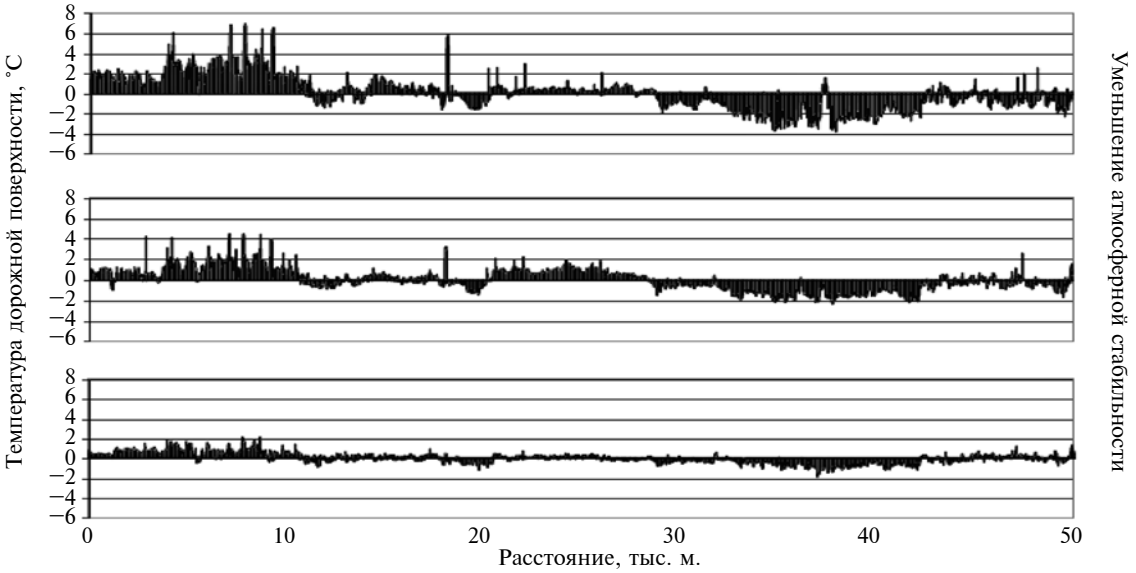


Рис. 5. Пример измерения температуры дорожного покрытия

го покрытия, т. е. вероятные места первоочередного образования зимней скользкости. Термокартирование дороги включает в себя данные измерений температуры поверхности дороги на всем протяжении между АДМС. Пример измерения температуры дорожной поверхности с помощью лаборатории представлен на рис. 5. Измерения производятся осенью, зимой, весной при различных погодных условиях (ясная безветренная ночь, облачная погода при наличии ветра), ночью, на сухом покрытии дороги.

Термокартирование производится с помощью передвижной лаборатории, оборудованной инфракрасными датчиками, которые позволяют дистанционно в движении производить измерения температуры дорожного покрытия. Лаборатория должна быть оборудована датчиками температуры воздуха, расположенными на расстоянии 30—40 см и 200 см от поверхности дороги, датчиком влажности воздуха, расположенным на расстоянии 200 см от поверхности дороги, системой определения координат и дополнительными системами, позволяющими оперативно вносить данные об элементах обстановки автомобильной дороги, особенностях ландшафта вблизи дороги. Информация записывается в банк данных, который используется в системе дорожного погодного мониторинга для корректировки значений температуры покрытия различных участков автомобильной дороги в зависимости от типа погодных условий и показаний датчиков.

Данная методика рекомендуется к расширенному применению в федеральных и территориальных органах управления автомобильных дорог.

Выводы. Результатом применения СДМО является: обеспечение сохранности автомобильных дорог; улучшение системы организации дорожного движения и повышение его безопасности; более эффективное использование финансовых и материальных ресурсов на зимнее содержание дорог; уменьшение вреда, наносимого окружающей среде, дорожным сооружениям и транспортным средствам избыточным использованием противогололедных материалов; планирование и финансирование работ по содержанию дорог с учетом погодно-климатических особенностей регионов; разработка планов содержания сети дорог региона, финансирование работ с учетом требований к уровню содержания, определение необходимого количества материалов и техники для содержания дорог; обеспечение работников дорожных организаций информацией о возможном изменении погодных условий и ожидаемом состоянии дорожного покрытия, выбор оптимальной технологии работ в зависимости от погодных условий; обеспечение органов управления дорожным хозяйством и участников движения информацией об ограничении скорости или закрытии отдельных участков дорог по погодным условиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Методические рекомендации** по специализированному гидрометеорологическому обеспечению дорожного хозяйства. Отраслевой дорожный методический документ. — Федеральное дорожное агентство, 2009.

УДК 621.43

Н. Д. Чайнов, д-р техн. наук, проф., **В. В. Сусликов**, аспирант, МГТУ им. Н. Э. Баумана
E-mail: v.suslikov@gmail.com

УПРОЧНЕНИЕ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

В статье описаны основные методы упрочнения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания и их влияние на циклическую прочность. Обоснован выбор оптимального варианта обработки для галтелей вала. Результат работы — создан алгоритм расчета остаточных напряжений, возникающих в технологическом процессе обкатки галтелей вала роликами.

Ключевые слова: *коленчатый вал, упрочнение, обкатка, остаточные напряжения.*

Коленчатые валы во время работы испытывают воздействие сил давления газов в цилиндре двигателя, сил инерции поступательно и вращательно движущихся масс. Коленчатые валы при работе двигателей подвержены также различного вида колебаниям и прежде всего крутильным колебаниям. Результатом является изнашивание коренных и шатунных шеек, а также усталостные повреждения, начинающиеся зачастую в местах концентрации напряжений (края маслоподводящих отверстий и галтели — места сопряжения щек с шейками вала). Вследствие сложности напряженно-деформированного состояния и наличия деструктивных процессов при эксплуатации к конструкции коленчатых валов предъявляются высокие требования прочностной надежности, жесткости и износостойкости в сочетании с высокой точностью и чистотой изготовления цапф, твердостью, а также хорошей уравновешенностью.

Коленчатые валы форсированных среднеоборотных транспортных двигателей выполняются коваными из легированной стали (38ХН3МА, 40Х2Н2МА, 20ХН3А и др.) или литыми из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧ30, ВЧ35 и др.) перлитно-ферритной структуры. Однако в связи с постоянно повышающимися степенью форсированности двигателей по давлению наддува и максимальному давлению цикла предпочтение отдается коленчатым валам, выполненным из стали. На рис. 1 изображен стальной коленчатый вал форсированного тепловозного двигателя (без противовесов).

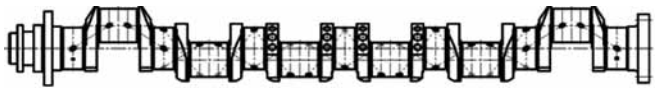


Рис. 1. Стальной коленчатый вал форсированного тепловозного двигателя (без противовесов)

Анализ поломок коленчатых валов показывает, что разрушения носят усталостный характер. Как уже отмечалось, развитие усталостных трещин начинается в местах наибольшей концентрации напряжений. Такими местами являются края отверстий для смазывания в шейках и галтели сопряжения щек с шейками. Расчеты показали, что наибольшие напряжения возникают в галтелях шеек коленчатого вала при действии знакопеременного изгибающего момента в плоскости кривошипа (рис. 2).

Для повышения сопротивления усталости галтели в процессе изготовления коленчатого вала подвергают поверхностному пластическому деформированию (ППД) [1, 3]. В соответствии с ГОСТ 18296—72 к этому типу дополнительной обработки относится обдувка дробью, чеканка, обкатка и др. Наиболее приемлемой для дополнительной механической обработки галтелей коленчатых валов является обкатка роликом или шариком (рис. 3).

Сущность данного метода заключается в том, что деформация металла начинается с вдавливания ролика в поверхность заготовки в момент их соприкосновения. Площадка контакта в предположении упругопластической деформации в зависимости от кривизн поверхностей представляет собой подобие эллипса (рис. 4).

Эффект от обкатки проявляется в уменьшении шероховатости поверхности (ликвидации поверхностных микронеровностей и создания сглаженно-

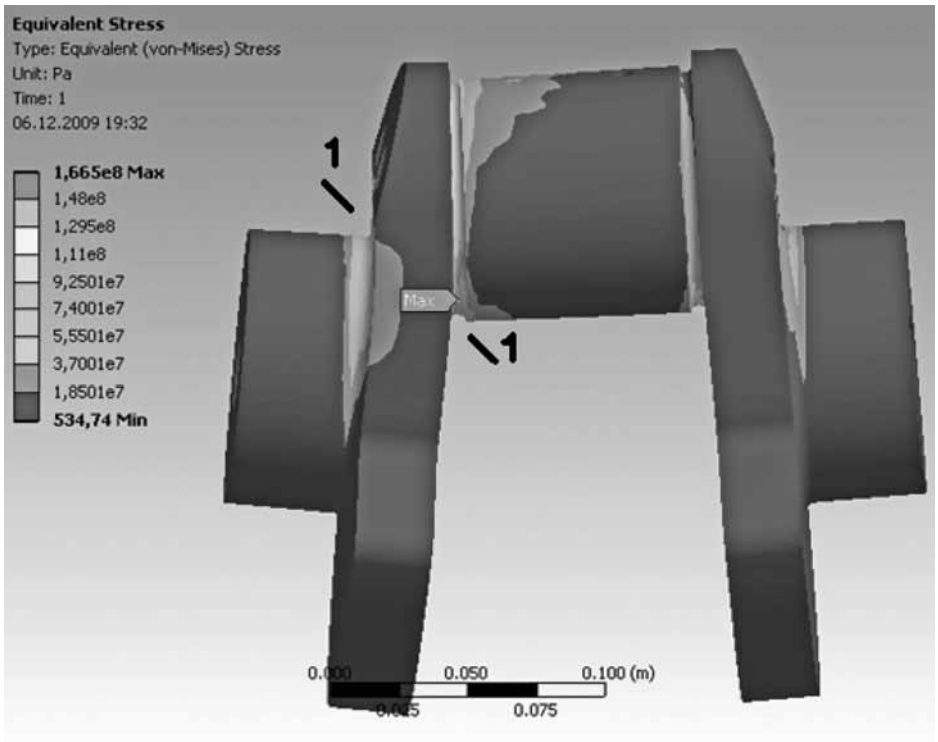


Рис. 2. Распределение напряжений в коленчатом валу среднеоборотного двигателя от действия изгибающего момента в плоскости кривошипа (1—1 — наиболее вероятная плоскость разрушения детали)

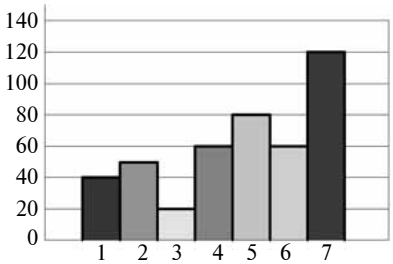


Рис. 3. Прирост предела выносливости в зависимости от вида обработки вала:

1 — закалка ТВЧ; 2 — химико-термическая обработка; 3 — дробеструйная обработка; 4 — накатывание роликами; 5 — чеканка; 6 — накатывание роликами + хромирование; 7 — накатывание роликами + азотирование

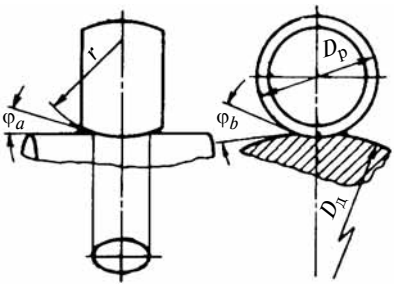


Рис. 4. Площадка контакта при вдавливании ролика

го микропрофиля), которая оказывает значительное влияние на усталостную прочность деталей, работающих при переменных нагрузках.

Чем выше шероховатость поверхности, тем ниже предел выносливости сталей. Снижение выносливости является следствием концентрации напряжений, создаваемой микронеровностями поверхности [1].

Для сталей высокой прочности вследствие повышенной чувствительности к концентрации напряжений влияние шероховатости на усталостную прочность особенно велико.

Влияние обкатки на усталостную прочность деталей проявляется не только через уменьшение шероховатости поверхности. Как уже отмечалось выше, во время обкатки материал в зоне контакта деформации упрочняется. При точечном исходном контакте ролика с деталью толщина слоя t упрочненного металла оценивается по формуле С. Г. Хейфеца [2]:

$$t = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_т}}, \qquad (1)$$

где P — усилие обкатки, $\sigma_т$ — предел текучести материала.

Толщина деформированного слоя металла измеряется миллиметрами, т. е. во много раз превосходит высоту микронеровностей, даже при относительно небольших усилиях обкатки.

На рис. 5 показано распределение твердости металла по сечению вала после обкатки. Твердость позволяет судить, в частности, о пределе выносливости на различном расстоянии от поверхности. Эта возможность основана на примерно прямой пропорциональности между твердостью и пределом выносливости наклепанной стали [3].

Исследования повышения твердости в результате наклепа для сталей с различными структурами было проведено И. В. Кудрявцевым и Е. В. Рымыновой [4] и показано, что относительно меньший прирост твердости получен при пластическом деформировании сорбита (такая структура характерна для деталей из легированных сталей в улучшенном состоянии).

Однако при испытаниях на изгиб с вращением ступенчатых образцов из стали 34ХН1М, имеющей сорбитную структуру, было установлено, что предел выносливости после упрочнения галтели роликом повысился почти в 2 раза, несмотря на то что повы-

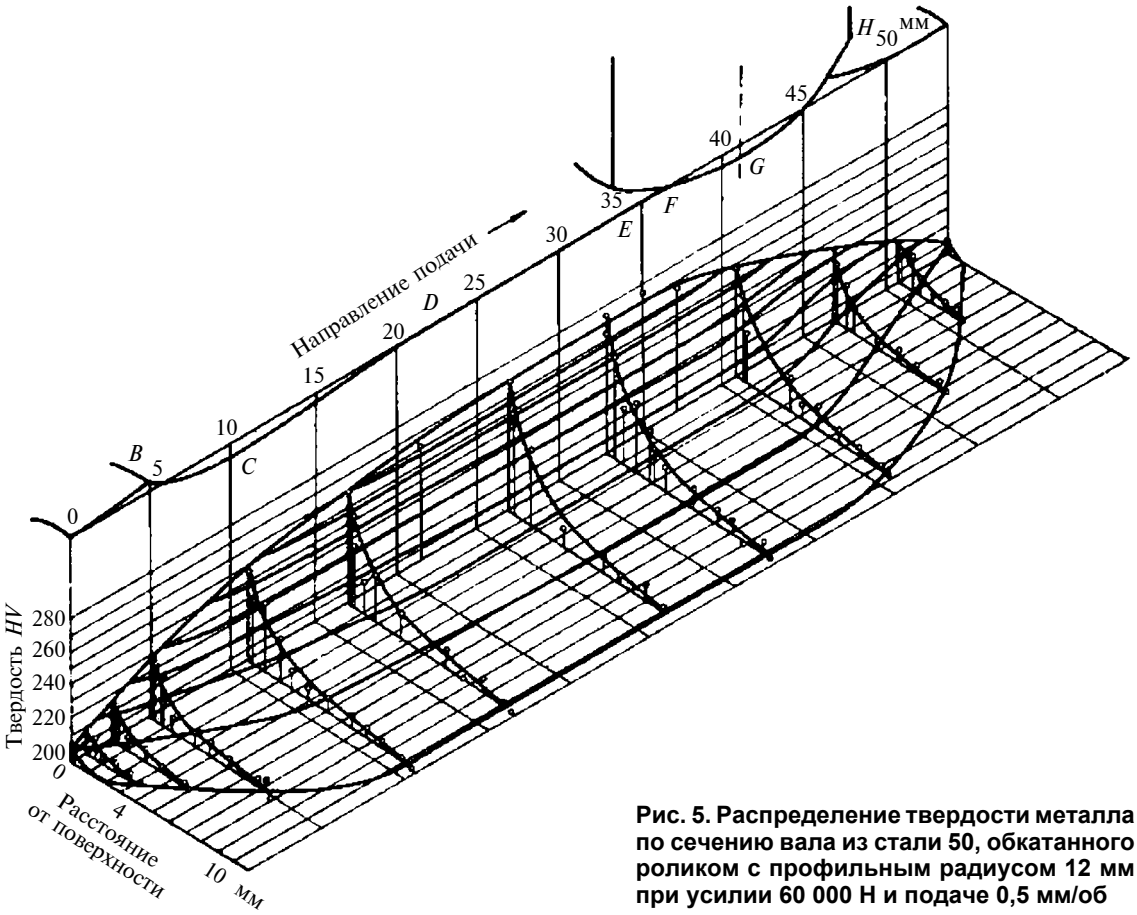


Рис. 5. Распределение твердости металла по сечению вала из стали 50, обкатанного роликом с профильным радиусом 12 мм при усилии 60 000 Н и подаче 0,5 мм/об

шение твердости в зоне наклепа практически не было обнаружено [4]. Можно сделать вывод о том, что эффект упрочнения от обкатки не ограничивается повышением выносливости, связанным с изменением механических свойств деформированного металла.

Остаточная напряженность поверхностно деформированных деталей и является одной из главных причин повышения их усталостной прочности.

Во время работы в обкатанных деталях возникают растягивающие напряжения от внешней нагрузки, которые суммируются с остаточными сжимающими напряжениями, которые уменьшают опасные растягивающие напряжения.

И. В. Кудрявцев и Н. М. Саввина [5] сравнили усталостную прочность образцов, наклепанных обкаткой роликами и пластическим закручиванием до одинаковой поверхностной твердости. В первых создавались высокие остаточные напряжения сжатия, во вторых вследствие большой глубины деформации остаточные напряжения практически отсутствовали. Испытания на усталостную прочность образцов показали, что поверхностная деформация повышает предел выносливости вдвое, а сквозной наклеп незначительно — всего на 6 %.

На рис. 6 приведена эпюра окружных остаточных напряжений в 20-мм слое металла, прилегающем к поверхности обкатанных валов из стали 50 и 34ХН1М [6].

Видно, что наиболее деформированный слой металла у поверхности не является наиболее напряженным. Вблизи поверхности наблюдается спад на-

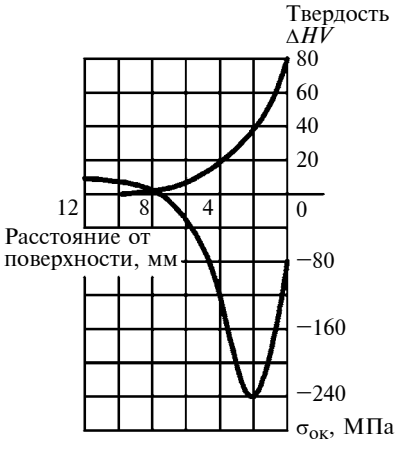


Рис. 6. Твердость металла и окружные остаточные напряжения в поверхностном слое обкатанного вала

пряжений. Это явление у поверхности крупных обкатанных образцов наблюдалось Хорджером [7].

В. М. Браславским высказано предположение, что спад остаточных напряжений является результатом неравномерного нагрева крупных деталей в процессе обкатки [6]. По эпюрам на рис. 6 видно, что с ростом усилия обкатки увеличивается толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями и глубина расположения их максимума. Напряжения в поверхностном слое сначала увеличиваются, затем начинают убывать.

При обкатке галтелей роликами при изготовлении коленчатых валов важным является выбор усилий обкатки, геометрии роликов, их ориентации относительно обкатываемых участков вала и др. Экспериментальный подход, применявшийся в прошлом, при решении этой задачи весьма трудоемок и дорог. Поэтому появившаяся возможность численного решения этой достаточно сложной задачи с помощью методов математического моделирования в программе DEFORM 3D представляет большой практический интерес.

Последовательность конечно-элементного расчета процесса обкатки в программном комплексе DEFORM-3D может быть представлена следующим образом.

1. Выбор геометрической модели.

Коленчатые валы форсированных среднеоборотных транспортных двигателей имеют сложную геометрическую форму. Как можно видеть из рис. 2, коленчатый вал V-образного 12-цилиндрового двигателя представляет собой пространственный стержень. Наряду с большими размерами элементов коленчатого вала ($d_ш$ ~ 250 мм и т. п.) имеются "сложные" геометрические области, такие как переходы шеек в щеки — галтели и края маслоподводящих отверстий, размеры которых достигают нескольких миллиметров. При расчетах циклической прочности эти геометрические особенности играют существенную роль, так как являются концентраторами напряжений.

Для получения адекватных результатов необходимо рассматривать трехмерную модель расчета коленчатого вала, поэтому перед расчетчиками встает серьезная задача уже на этапе выбора геометрической модели.

В нашем случае, при расчете остаточных напряжений особое внимание следует уделить области галтели и прилежащих участков. Учитывая это обстоятельство можно выделить следующую расчетную область из всего коленчатого вала (рис. 7). Такое допущение позволит увеличить количество элементов в области галтели и повысить точность расчета, а также позволит сократить время вычислений.

На рис. 8 представлена конечно-элементная модель расчета остаточных напряжений в коленчатом вале форсированного среднеоборотного транспортного двигателя.

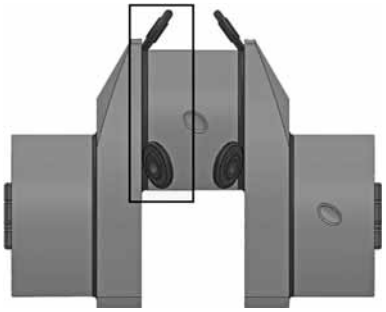


Рис. 7. К выбору геометрической модели расчета остаточных напряжений (рамкой выделена расчетная область колена вала)

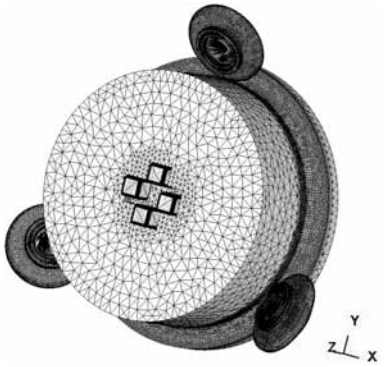


Рис. 8. Конечно-элементная модель расчета

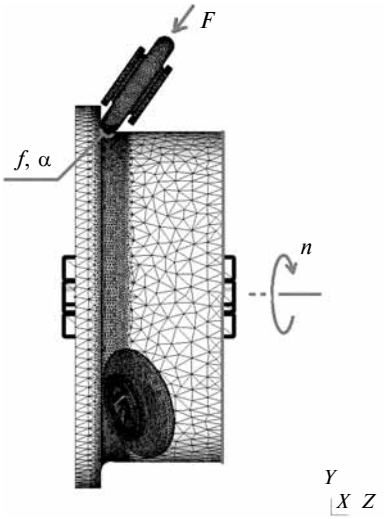


Рис. 9. К выбору граничных условий расчета

2. Задание граничных условий в начальный момент времени.

Во время процесса обкатки галтелей роликами на вал, вращающийся с частотой n, действует сила давления ролика F (сила обкатки) (рис. 9). Вследствие этого в пятне контакта вала и ролика возникает сила трения, характеризующаяся коэффициентом трения f, и происходит нагрев. Тепловой поток в месте контакта деталей рассчитывается с учетом коэффициента теплоотдачи α.

В случае расчета половины длины шатунной шейки требуется задать условие симметрии на поверхности торца шейки. Это условие является правомерным, так как процесс обкатки происходит одновременно для двух галтелей одной шейки и можно предположить, что задача является симметричной, убрав половину шейки.

Правильный выбор граничных условий во многом определяет результаты расчета, поэтому к их выбору нужно отнестись очень аккуратно.

3. Задание начального приближения поля скоростей узловых точек элементов на первом шаге расчета.

4. Вычисление характеристик элементов, зависящих от поля скоростей узловых точек элементов и других переменных (деформаций, температур и т. д.).

5. Вычисление силовых граничных условий, зависящих от поля скоростей узловых точек элементов.

6. Сборка и решение матричного уравнения.

7. Вычисление погрешностей.

8. Если погрешность скоростей больше заданной величины, происходит коррекция поля скоростей узловых точек элементов и возврат к пункту 4 расчета.

В противном случае переход к следующему шагу расчета.

9. Обновление геометрии с учетом полученных данных (скоростей, перемещений и деформаций элементов).

10. Вычисление изменения температуры на данном шаге расчета.

11. Вычисление нового приращения скорости в рамках временного шага (если происходит дробление временного шага расчета).

12. Завершение расчета, если полученные погрешности меньше заданной величины.

В противном случае возврат к пункту 4 расчета и повторение процесса.

Авторами настоящей статьи в работе [8] подробно рассмотрена процедура численного решения задачи в упруго-пластической постановке (пункты 3—12 последовательности расчета), позволяющая оптимизировать параметры процесса обкатки галтелей вала, что крайне важно при создании конструкций коленчатых валов форсированных двигателей новых поколений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Браславский В. М.** Технология обкатки крупных деталей роликами. 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1975. — 159 с.
2. **Хейфец С. Г.** Аналитическое определение глубины наклепанного слоя при обкатке роликами стальных деталей. Сборник ЦНИИТМАШ, кн. 49, М.: Машгиз, 1952.
3. **Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М.** Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М.: Машгиз, 1963.
4. **Кудрявцев И. В., Рымынова Е. В.** Повышение твердости и усталости в результате усталостной прочности в результате наклепа для сталей с различными структурами. Труды ЦНИИТМАШ, кн. 18. М.: ОНТИ, 1961.
5. **Кудрявцев И. В., Саввина Н. М.** Поверхностный наклеп как средство повышения усталостной прочности валов с неподвижными посадками. Сборник ЦНИИИТМАШ, кн. 85. М.: Машгиз, 1957.
6. **Куликов О. О., Браславский В. М.** Влияние режима обкатки роликами на остаточные напряжения в крупных валах. Труды ЦНИИТМАШ, кн. 18. М.: ОНТИ, 1961.
7. **Horger O. J.** Stressing Axles and other Railroad Equipment by Cold Rolling. "Surface stressing of Metals", Cleveland, 1946.
8. **Чайнов Н. Д., Сусликов В. В.** Математическое моделирование технологического процесса обкатки галтели коленчатого вала // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012, № 7, спецвыпуск.

УДК 629.113

Е. В. Кузнецов, канд. техн. наук, Белорусско-Российский университет
E-mail: 375222487064@mail.ru

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ И ТРАНСМИССИИ ТРАКТОРА

Представлена методика выбора рациональных параметров и характеристик двигателя и шасси пахотного гусеничного трактора на основе математического моделирования процессов, протекающих при его работе, с учетом воздействий внешней среды и оператора. Приведены результаты теоретических исследований работы трактора с различными сочетаниями двигателей и трансмиссий.

Ключевые слова: *трактор, двигатель постоянной мощности, гидромеханическая трансмиссия, фрикцион блокировки гидротрансформатора, математическая модель.*

Для повышения конкурентоспособности отечественных тракторов перед их разработчиками стоят задачи увеличения производительности и надежности, снижения эксплуатационных и производственных затрат вновь разрабатываемых машин по сравнению с выпускаемыми.

Одним из направлений совершенствования тракторов является использование моторов с прогрессивной характеристикой крутящего момента, т. е. двигателей постоянной мощности (ДПМ). Другой путь — это применение на тракторах гидромеханических трансмиссий (ГМТ). И первое, и второе техническое решение позволяют существенно улучшить тягово-динамические характеристики машин, их эргономические качества и обеспечивают ряд других преимуществ по сравнению с тракторами, оборудованными традиционными дизелями и механическими трансмиссиями. Однако проблемы совместного использования на энергонасыщенном пахотном тракторе ДПМ и ГМТ, а также вопросы блокировки гидродинамического трансформатора (ГДТ) для повышения КПД трансмиссии еще до конца не решены. Это обстоятельство и определило цель данной работы.

Наиболее экономично указанные исследования можно провести с помощью математического моделирования работы трактора на ЭВМ. Что и сделано. При этом приняты следующие допущения:

1) исследования проводились применительно к пахотному гусеничному трактору тягового класса 3 т;

2) использовалась так называемая "плоская" модель, т. е. горизонтальные колебания ("рыскание") и повороты не рассматривались;

3) остов трактора — твердое тело;

4) силы трения пропорциональны относительным скоростям;

5) не учитывалось дополнительное натяжение гусеничной цепи от центробежных сил вследствие малости скоростей движения (до 20 км/ч);

6) гидромагистрали системы управления фрикционом блокировки гидротрансформатора принимались абсолютно жесткими, а рабочая жидкость считалась несжимаемой, так как уровень воздуха в системе не превышает 3 %, а давление 1 МПа.

Гусеничный трактор рассматривается как динамическая система с сосредоточенными параметрами: Двигатель — Трансмиссия — Гусеничный обвод — Подвеска — Остов. Модель имеет 11 степеней свободы.

На рис. 1 приведена динамическая модель (расчетная схема) указанной машины, где приняты следующие обозначения: $M_д$ — крутящий момент на маховике двигателя; $J_д, J_н, J_т, J_{тр}, J_у$ — моменты инерции двигателя, насосного и турбинного лопастных колес ГДТ, ведомой части трансмиссии и трактора относительно поперечной оси; m, $m_{пф}$ — массы трактора и поршня фрикциона блокировки ГДТ с жидкостью; $p_ф$ — давление жидкости в полости фрикциона блокировки ГДТ; Q — расход жидкости в продольной плоскости ГДТ; $\varphi_д, \varphi_н, \varphi_т, \varphi_{тр}$ — углы поворота маховика двигателя, насосного и турбинного колес ГДТ и ведущей шестерни коробки передач; $c_н, r_н, c_т, r_т, c_п, r_п, c_з, r_з, c_р, r_р, c_с, r_с$ — коэффициенты жесткости и сопротивлений насосного и турбинного валов ГДТ, передней и задней подвесок, рабочей и свободной ветвей гусеницы; q_1, q_2, q_3, q_4 — высоты микропрофиля под опорными катками; $F_{кр}, F_\psi$ — сила сопротивления от агрегатируемого орудия и суммарная сила сопротивлений

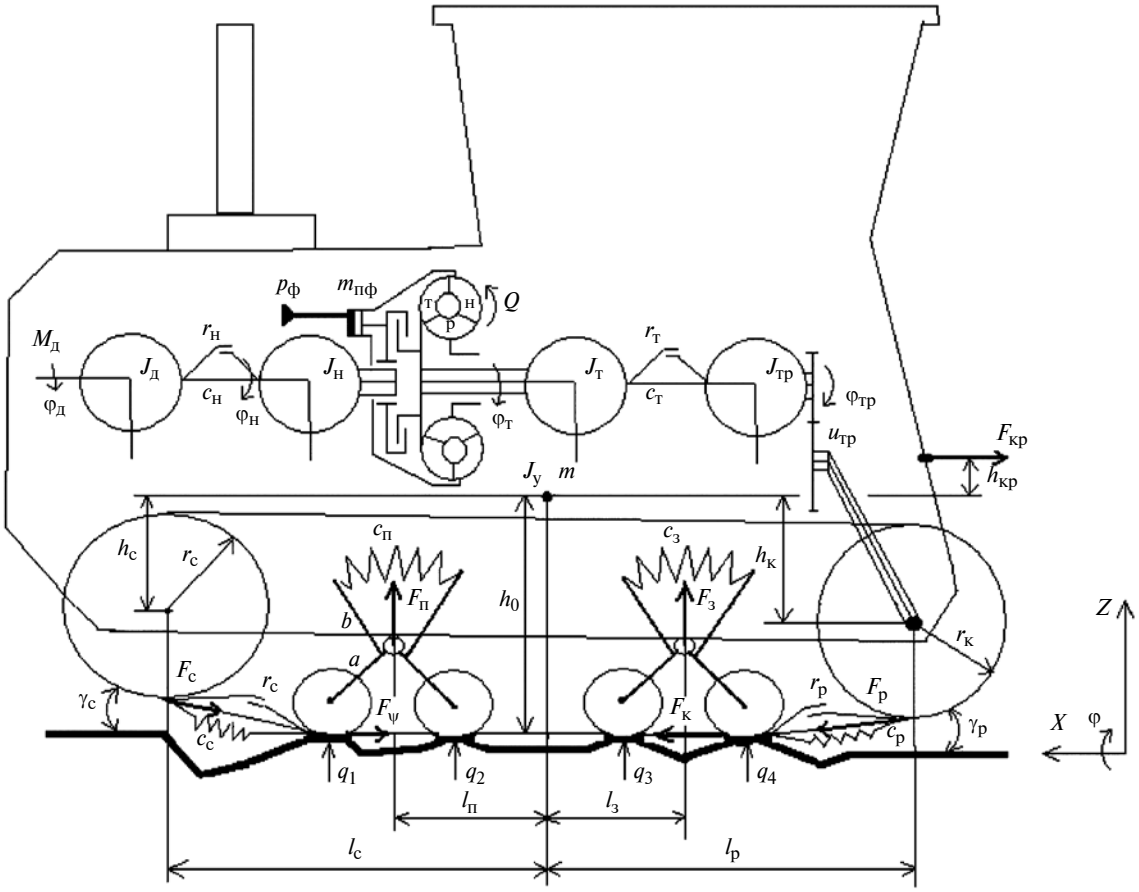


Рис. 1. Динамическая модель гусеничного трактора с гидромеханической трансмиссией

качению и подъему; $F_к$, $F_р$, $F_с$, $F_п$, $F_з$ — силы тяги, натяжения рабочей и свободной ветвей гусеницы, передней и задней подвесок; $r_к$, $r_с$ — радиусы ведущего и натяжного колес; $u_{тр}$ — передаточное число трансмиссии; $l_р$, $l_с$, $l_п$, $l_з$ — расстояния от центра масс трактора до ведущего и натяжного колес, передней и задней балансирных тележек подвески; h_0, $h_{кр}$, $h_к$, $h_с$ — высоты от центра масс до опорной поверхности, крюка сцепки, ведущего и натяжного колес; $\gamma_р$, $\gamma_с$ — углы наклона рабочей и свободной ветвей гусеницы.

Движение масс трактора, отраженных на динамической модели (см. рис. 1), описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, которые в форме Даламбера могут быть представлены как:

$$
\begin{cases}
\ddot{\varphi}_д J_д = M_д - M_{ун} - M_{дн};\\
\ddot{\varphi}_н J_н = M_{ун} + M_{дн} - M_н - M_ф;\\
\ddot{\varphi}_т J_т = M_т + M_ф - M_{ут} - M_{дт};\\
\ddot{\varphi}_{тр} J_{тр} = M_{ут} + M_{дт} - 2(F_к + F_{ур} + F_{др} - F_{ус} - F_{дс} - F_ψ)r_к/(u_{тр}\eta_{тр});\\
\ddot{x}\, m = 2[F_к + (F_{ур} + F_{др})\cos\gamma_р - (F_{ус} + F_{дс})\cos\gamma_с] - F_{кр} - F_ψ;\\
\ddot{z}\,(m - m_н) = 2[F_{уп} + F_{дп} + F_{уз} + F_{дз} - (F_{ур} + F_{др})\sin\gamma_р - (F_{ус} + F_{дс})\sin\gamma_с];\\
\ddot{\varphi} J_у = 2[(F_{уп} + F_{дп})l_п - (F_{уз} + F_{дз})l_з + (F_{ур} + F_{др})(l_р\sin\gamma_р + h_к\cos\gamma_р + r_к) + F_к h_0 -\\
\quad - (F_{ус} + F_{дс})(l_с\sin\gamma_с + h_с\cos\gamma_с + r_с)] + F_{кр}h_{кр} - F_ψ h_0;\\
\ddot{x}_{пф} m_{пф} = (p_ф - p_{гдт} - \xi_1\dot{x}_{пф} - \xi_2\dot{x}^2_{пф}\, sgn\,\dot{x}_{пф})A_ф - F_{уф} - F_{дф};\\
Q = f_1(\beta_{ij}, r_{ij}, \dot{\varphi}_н, \dot{\varphi}_т, T_{гдт}) \to M_н, M_т = f(Q);\\
\dot{g}_ц = f_2(\dot{\varphi}_д, \gamma_д, T_{рд});\\
\dot{p}_{тк} = f_3(\dot{\varphi}_д, g_ц, T_{тк}) \to M_д = f(g_ц, p_{тк}).
\end{cases}
\qquad (1)
$$

В математической модели (I) приняты следующие обозначения: $\ddot{\varphi}_д$, $\ddot{\varphi}_н$, $\ddot{\varphi}_т$, $\ddot{\varphi}_{тр}$, $\ddot{x}$, $\ddot{z}$, $\ddot{\varphi}$, $\ddot{x}_{пф}$ — ускорения маховика двигателя, насосного и турбинного колес ГДТ, ведущей шестерни коробки передач, продольное и вертикальное центра масс трактора, угловое продольное остова, а также поршня фрикциона блокировки ГДТ; $M_{ун}$, $M_{дн}$, $M_{ут}$, $M_{дт}$ — моменты упругих и диссипативных сил насосного и турбинного валов ГДТ; $M_н$, $M_т$, $M_ф$ — моменты на насосном и турбинном лопастных колесах ГДТ и ведомых дисках его фрикциона блокировки; $F_{ур}$, $F_{др}$, $F_{ус}$, $F_{дс}$ — упругие и диссипативные силы рабочей и свободной ветвей гусеницы, которые попарно в сумме соответственно дают $F_р$ и $F_с$; $\eta_{тр}$ — КПД механической части трансмиссии; $m_н$ — неподрессоренная масса машины; $F_{уп}$, $F_{дп}$, $F_{уз}$, $F_{дз}$ — упругие и диссипативные силы передней и задней подвесок; $p_{гдт}$ — давление в рабочей полости ГДТ, которое возвращает поршень фрикциона блокировки в исходное положение, т. е. разблокирует ГДТ; ξ_1, ξ_2 — коэффициенты линейных и квадратичных потерь в гидроприводе фрикциона блокировки ГДТ; $sgn\dot{x}_{пф}$ — функция знака скорости поршня фрикциона блокировки ГДТ; $A_ф$, $F_{уф}$, $F_{дф}$ — площадь поршня, упругие и диссипативные силы дисков фрикциона блокировки ГДТ; β_{ij}, r_{ij} — углы и радиусы входа и выхода лопаток насосного, турбинного и реакторного лопастных колес ГДТ; $T_{гдт}$, $T_{рд}$, $T_{тк}$ — постоянные времени гидротрансформатора, регулятора цикловой подачи топлива двигателя и его турбокомпрессора; $\dot{g}_ц$, $\gamma_д$ — скорость изменения цикловой подачи топлива двигателя и положение рычага управления подачей топлива; $\dot{p}_{тк}$ — скорость изменения давления наддува двигателя.

В модели учитывалось дополнительное нагружение гусеницы от ее звенчатости, а также буксование движителя [1]. Параметры микропрофиля опорной поверхности и сопротивление на крюке задавались случайными функциями, соответствующими полю со стерней ржи нормальной влажности среднего суглинка. Движение жидкости в гидротрансформаторе оценивалось по методике, описанной в [2].

Адекватность представленной модели подтверждена путем сравнения данных, полученных с помощью модели, с экспериментальными данными при исследованиях трактора ВТ-200 с опытной моторно-трансмиссионной установкой, включающей ДПМ СМД-86 ПМ и блокируемый ГДТ ЛГ-400-70.

С помощью представленной математической модели на ЭВМ имитировалось движение трактора на одном гоне поля длиной 300 м, т. е. имитировался разгон, движение с установившейся скоростью, торможение и останов. Затем полученные результаты пересчитывались на 1 га с учетом поворотов.

При исследованиях рассматривались следующие варианты комплектации трактора мотором и трансмиссией:

1) дизель номинальной мощностью $N_н$ = 147 кВт с коэффициентом запаса крутящего момента $k_м$ = 1,08 и механическая трансмиссия (Д + МТ);

2) ДПМ $N_н$ = 147 кВт с $k_м$ = 1,50 и механическая трансмиссия (ДПМ + МТ);

3) дизель $N_н$ = 147 кВт с $k_м$ = 1,08 и гидромеханическая трансмиссия без блокировки ГДТ (Д + ГМТ);

4) дизель $N_н$ = 147 кВт с $k_м$ = 1,08 и ГМТ с блокировкой ГДТ (Д + ГМТ + ФБ);

5) ДПМ $N_н$ = 147 кВт с $k_м$ = 1,50 и ГМТ без блокировки ГДТ (ДПМ + ГМТ);

6) ДПМ $N_н$ = 147 кВт с $k_м$ = 1,50 и ГМТ с блокировкой ГДТ (ДПМ + ГМТ + ФБ).

Трогание и разгон для вариантов с механической трансмиссией осуществлялось путем моделирования включения главного фрикциона (муфты сцепления) при одновременном увеличении подачи топлива до максимума ($\gamma_д$ = 1,0), а для вариантов с ГМТ — только за счет увеличения подачи топлива. В вариантах с блокировкой ГДТ фрикцион включался при достижении угловой скорости турбинного вала $\omega_т$ = 110 рад/с, а отключался во время торможения при $\omega_т$ = 100 рад/с. Время увеличения давления на поршень фрикциона блокировки ГДТ составляло $t_ф$ = 0,1 с, а главного фрикциона для механической трансмиссии $t_ф$ = 0,5 с. Останов трактора в конце гона осуществлялся уменьшением подачи топлива до $\gamma_д$ = 0,3 и нажатием на тормоз, т. е. увеличением $F_ψ$. Во всех случаях предполагалось, что перед троганием плуги ПТК-7 заглублены, а передача включена.

На рис. 2 и 3 представлены некоторые графические результаты моделирования работы тракторного агрегата в указанных условиях.

В качестве оценочных показателей приняты следующие показатели.

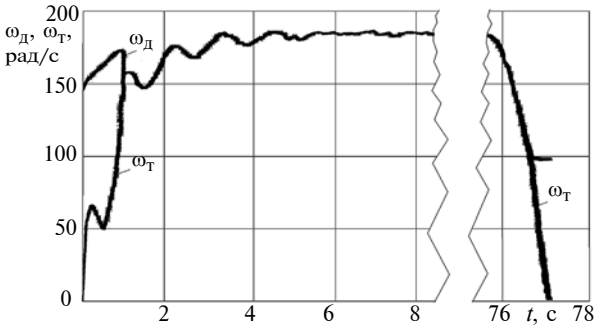


Рис. 2. Изменение угловых скоростей ДПМ ($\omega_д$) и турбинного колеса ГДТ с блокировкой ($\omega_т$) при движении трактора на одном гоне поля

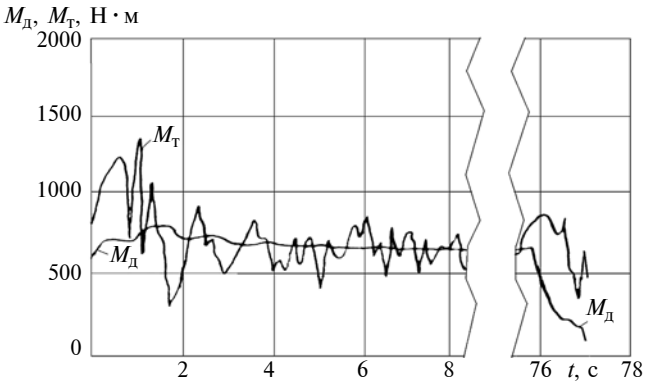


Рис. 3. Изменение моментов на маховике ДПМ ($M_д$) и турбинном валу ГДТ с блокировкой ($M_т$) при движении трактора на одном гоне поля

Производительность тракторного агрегата:

$$П = \frac{1 - k_в}{n\left(T_р + T_у + T_з\right)}, \text{ га/ч}, \quad (2)$$

где $k_в$ — коэффициент потерь времени на повороты и развороты; n — количество гонов на 1 га пашни; $T_р$, $T_у$, $T_з$ — время разгона установившегося движения и замедления;

расход топлива:

$$G = \frac{n\left(m_в + m_у + m_з\right)}{1 - k_т}, \text{ кг/га}, \quad (3)$$

где $m_р$, $m_у$, $m_з$ — масса топлива, затраченная на разгон, установившееся движение и замедление; $k_т$ — коэффициент потерь топлива на повороты и развороты;

среднее квадратическое отклонение крутящего момента на первичном валу коробки передач при установившемся движении:

$$\sigma_{т.у} = \sqrt{\frac{\Sigma\left(M_{т.ср} - M_т\right)^2}{i - 1}}, \text{ Н · м}, \quad (4)$$

где $M_{т.ср}$, $M_т$ — среднее и текущее значение крутящего момента; i — количество точек измерения;

максимальное продольное ускорение на рабочем месте: j_{max}, м/с^2;

коэффициент динамичности трансмиссии:

$$k_д = \frac{M_т^{max}}{M_{т.у}^{ср}}, \quad (5)$$

где $M_т^{max}$, $M_{т.у}^{ср}$ — максимальный момент и среднее значение крутящего момента на первичном валу коробки передач при установившемся движении.

В качестве дополнительных оценочных показателей только для вариантов с механической трансмиссией и ГМТ с блокировкой ГДТ использованы такие показатели.

Удельная работа буксования, определяющая интенсивность износа дисков главного фрикциона механической трансмиссии или фрикциона блокировки ГДТ:

$$L_ф = \frac{M_ф \Delta\omega_ф \Delta t}{z_ф A_ф}, \text{ кДж/м}^2, \quad (6)$$

где $\Delta\omega_ф$ — текущая относительная угловая скорость между ведущими и ведомыми дисками фрикциона; Δt — шаг интегрирования; $z_ф$ — число пар трения фрикциона; $A_ф$ — площадь дисков фрикциона;

удельная мощность буксования тех же фрикционов, определяющая температурные напряжения в дисках, а значит степень их коробления:

$$N_ф = \frac{L_ф}{t_б}, \text{ кВт/м}^2, \quad (7)$$

где $t_б$ — время буксования фрикциона.

Результаты проведенных опытов представлены в таблице.

Анализ полученных результатов показывает, что **минимальной производительностью и в то же время минимальным расходом топлива обладает трактор, оборудованный обычным дизелем и механической**

Влияние типа двигателя и трансмиссии на характеристики трактора

Тип мотора и трансмиссии	П		G		$\sigma_{т.у}$		i_{max}		$k_д$		$L_ф$	$N_ф$
	га/ч	%	гк/га	%	Н · м	%	м/с	%	—	%		
Д + М	1,67	100	11,30	100	310	100	6,3	100	3,4	100	2498	300
ДПМ + МТ	2,30	138	13,10	116	205	66	6,6	105	2,7	79	3181	340
Д + ГМТ	1,95	117	13,57	120	125	40	4,0	63	1,3	38	—	—
Ж + ГМТ + ФБ	1,85	110	11,43	101	310	100	4,1	64	3,0	88	123	93
ДПМ + ГМТ	2,16	129	14,52	128	95	30	3,5	55	1,8	53	—	—
ДПМ + ГМТ + ФБ	2,37	142	13,41	119	205	66	5,7	92	2,6	76	312	179

трансмиссией. Вместе с тем здесь имеет место наибольшая динамическая нагруженность трансмиссии.

Во втором варианте благодаря использованию ДПМ тракторный агрегат имеет прирост производительности на 38 %. При этом расход топлива возрастает только на 16 %. Среднее квадратическое отклонение крутящего момента на первичном валу коробки передач при установившемся режиме движения снижается на 34 %. А общий коэффициент динамичности трансмиссии уменьшается на 21 %. То есть **использование ДПМ значительно снижает динамическую нагруженность трансмиссии вследствие гиперболического вида внешней скоростной характеристики крутящего момента мотора**. Увеличение производительности связано с уменьшением времени разгона опять же в связи со специфическими внешними скоростными характеристиками, позволяющими двигателю быстрее выходить на максимальную мощность. Однако в этом варианте на треть возрастает удельная работа буксования и на 13 % возрастает удельная мощность буксования главного фрикциона. К тому же на 5 % возрастает продольное ускорение при разгоне.

Использование на тракторе обычного дизеля и ГМТ без блокировки ГДТ (третий вариант) по сравнению с первым базовым вариантом увеличивает производительность на 17 % при увеличении расхода топлива на 20 %. Здесь в 2,5 раза уменьшается $\sigma_{т.у}$, почти в три раза $k_д$ и на треть j_{max}, что является главной предпосылкой для надежной, долговечной и эргономичной работы трактора.

В четвертом варианте **наличие блокировки ГДТ приводит к уменьшению производительности на 7 % по сравнению с предыдущим вариантом, что можно объяснить перегрузкой обычного дизеля, а значит и меньшей скоростью тракторного агрегата на установившемся режиме. Вместе с тем здесь имеет место экономия топлива на 19 %. По сравнению же с первым вариантом имеем значительно меньшую динамическую и тепловую нагруженность трансмиссии.**

Применение на тракторе ДПМ и ГМТ без блокировки ГДТ (пятый вариант) увеличивает производительность на 29 % при росте расхода топлива на 28 %. Такой тракторный агрегат имеет минимальную из всех рассмотренных вариантов динамическую нагруженность трансмиссии и продольное ускорение на рабочем месте оператора.

В последнем варианте имеем наибольшую производительность — на 42 % выше, чем в первом случае при росте расхода топлива всего на 19 %. То есть, **если сравнивать прирост производительности с ростом расхода топлива, то в шестом варианте эта разница максимальна, что указывает на наибольший КПД тракторного агрегата.** По сравнению со вторым вариантом, где КПД также высок, имеем в 10 раз меньшую $L_ф$, в два раза меньшую $N_ф$, на 13 % меньше j_{max} и на 9 % меньше $k_д$.

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие основные выводы.

1. Использование на пахотном тракторе двигателя постоянной мощности в сочетании с гидромеханической трансмиссией с блокируемым гидротрансформатором позволяет примерно в 1,5 раза увеличить производительность труда, снизить примерно на треть динамическую нагруженность трансмиссии, а также улучшить эргономические характеристики (в частности уменьшить максимальное продольное ускорение на рабочем месте).

2. Управление фрикционом блокировки гидротрансформатора должна осуществлять система автоматического управления, так как процессы разгона и торможения энергонасыщенного трактора весьма скоротечны (в последнем рассмотренном случае составляют около секунды), т. е. обеспечить своевременное управление вручную попросту невозможно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кузнецов Е. В.** Обоснование и выбор параметров двигателя и трансмиссии пахотного гусеничного трактора тягового класса 30 кН. Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. — Защищена 13.05.94; Утв. 15.04.96. — Мн.: БГПА, 1994. — 146 с: ил.
2. **Лаптев Ю. Н.** Динамика гидромеханических передач. — М.: Машиностроение, 1983. — 104 с: ил.

УДК 621.436

В. А. Марков, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана,
С. Н. Девянин, д-р техн. наук, проф., МГАУ им. В. П. Горячкина,
С. П. Шимченко, аспирант, МГТУ им. Н. Э. Баумана
E-mail: markov@power.bmstu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ

Представлена технология получения биогаза из отходов сельскохозяйственного производства. Приведены физико-химические свойства биогаза. Предложена концепция выработки электроэнергии из биогаза. Статья публикуется в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы".

Ключевые слова: *дизельный двигатель, дизельное топливо, биогаз, дизель-генераторная установка.*

Одной из наиболее актуальных проблем современного двигателестроения является проблема поиска моторных топлив, которые смогут успешно заменить традиционные бензин и дизельное топливо. Это обусловлено как постепенным истощением нефтяных месторождений, так и непрерывным повышением цен на нефть и нефтепродукты. По пессимистичным прогнозам организации стран — экспортеров нефти (ОПЕК) запасы нефти в промышленно развитых странах иссякнут уже в ближайшем будущем. В России разведанных запасов нефти хватит до 2025—2030 гг., а запасов газа — до 2085—2095 гг. [1]. Мировые цены на нефть практически непрерывно повышаются, и прогнозируется их дальнейший рост. В этих условиях использование в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, других секторах экономики России топлив ненефтяного происхождения (альтернативных топлив) становится не только необходимым, но и экономически оправданным.

Среди альтернативных топлив наибольший интерес представляют биотоплива, производство которых возможно из возобновляемых сырьевых ресурсов — растительного или животного сырья [2]. Использование биотоплив позволяет не только заместить нефтяные моторные топлива альтернативными, но и улучшить показатели токсичности отработавших газов (ОГ) — как правило, отмечается заметное уменьшение эмиссии токсичных компонентов ОГ. В первую очередь это относится к дымности ОГ и выбросам других продуктов неполного сгорания топлива, которые при использовании биотоплив снижаются в 1,5—2 раза [3]. Кроме того, использование биогаза способствует снижению парникового эффекта благодаря обеспечению экологически замкнутой энергетической системе.

Для решения локальных энергетических проблем перспективным является использование биогаза, который может быть получен из различных отходов (отходы сельскохозяйственного производства, бытовые стоки, индустриальные отходы) [4, 5]. Одна из наиболее значительных сырьевых баз для производства биогаза обеспечивается сельскохозяйственным производством. Биогаз можно получать из навоза животных и птиц, а также из отходов растениеводства [6—9]. Наиболее привлекательным представляется использование для производства биогаза навоза крупного рогатого скота. Это объясняется возможностью комплексного использования отходов сельскохозяйственного производства — из навоза в биореакторах можно получить биогаз и одновременно ценные органические удобрения, позволяющие заметно повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Технологический процесс переработки отходов и использования продуктов переработки биореак-

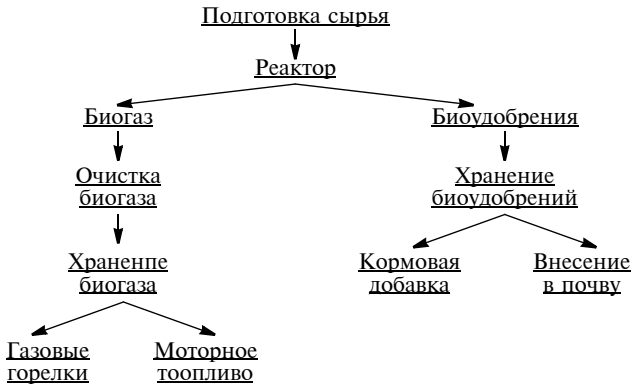


Рис. 1. Типовая схема переработки отходов сельскохозяйственного производства, получения биогаза и использования продуктов переработки

тора представлен на рис. 1 [2]. Принцип работы всех биогазовых установок схож: после сбора и подготовки сырья, заключающейся в доведении его до нужной влажности в специальном резервуаре, оно подается в реактор, где создаются условия для оптимизации процесса переработки сырья. Продуктами переработки являются биогаз и биоудобрения, которые в дальнейшем используются по назначению. При использовании в качестве сырьевой базы навоза крупного рогатого скота, отпадает необходимость в организации его специального сельскохозяйственного производства. Необходима лишь подготовка уже имеющегося сырья.

Процесс получения биогаза осуществляется целым технологическим комплексом, основным элементом которого является биореактор, по следующей схеме (рис. 2) [10, 11]. С животноводческой

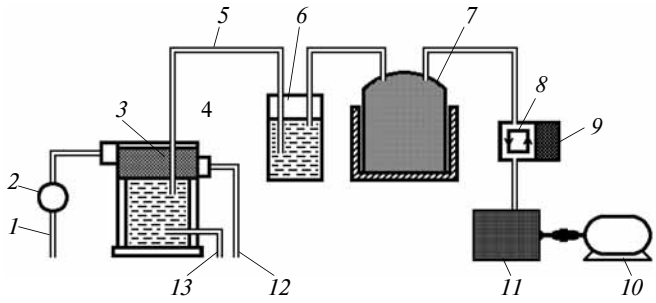


Рис. 2. Технологическая схема биогазовой установки для переработки отходов и использовании биогаза:

1 — трубопровод для подачи отходов с фермы; 2 — фекальный насос; 3 — биореактор; 4 — приемник жидких удобрений; 5 — трубопровод с биогазом; 6 — сепаратор; 7 — газгольдер; 8 — устройство подачи биогаза; 9 — криогенная система; 10 — электрогенератор; 11 — двигатель внутреннего сгорания; 12 — трубопровод для отвода жидких удобрений; 13 — трубопровод для отвода удобрений на поля

фермы или хранилища навоз и органические отходы по трубопроводу *1* откачивают фекальным насосом *2* и подают в биореактор *3* с приемником *4* жидких удобрений. В биореакторе происходит анаэробное сбраживание отходов и выделение биогаза, который по трубопроводу *5* через сепаратор *6* (система для удаления из биогаза влаги и, частично, углекислого газа CO_2) поступает в газгольдер *7*. Он представляет собой большой резервуар для хранения газа при давлении, близком к атмосферному, и температуре окружающей среды. Газгольдер изготавливают из железобетона, стали и т. п.

Из газгольдера *7* биогаз через ряд вспомогательных устройств подают к потребителю, в частности, в двигатель внутреннего сгорания. В этом случае биогаз обычно компримируют в устройстве *8* подачи биогаза, имеющим криогенную систему *9*, обеспечивающую охлаждение сжатого биогаза.

На рис. 2 показана технологическая схема, в которой двигатель внутреннего сгорания — дизель *11* — приводит во вращение электрогенератор *10*, вырабатывающий электрический ток.

Следует отметить, что анаэробное сбраживание отходов и выделение биогаза происходит при нагреве навоза до определенной температуры и поддержании теплового режима в биореакторе *3*, в который подают горячую воду или устанавливают теплообменник. Через него протекает горячая вода, нагреваемая теплотой охлаждающей жидкости и отработавших газов двигателя. Сброженный навоз через приемник *4* и трубопровод *12* для отвода жидких удобрений поступает в специальное хранилище, а жидкая фракция через трубопровод *13* для отвода удобрений направляется на поля.

Получение биогаза — это своеобразный биологический вариант гелиоэнергетики. В соответствии с расчетами, в среднем одна тонна навоза или другой биомассы, подвергаемой метановому сбраживанию, дает около 500 м^3 биогаза, что эквивалентно 350 л бензина. Иногда приводятся отдельные цифры выхода биогаза из навоза (200—300 м^3) и растительной биомассы (300—630 м^3). Однако в целом выход биогаза из различного сырья сильно колеблется (рис. 3) [12]. Поэтому принято понятие так называемой "животной единицы", эквивалентной ежедневному производству биогаза около 1,5 м^3. Такое количество может произвести: одна взрослая корова, пять телят, шесть свиней, 250 кур.

Комментируя рис. 3, необходимо отметить, что основным компонентом биогаза является метан (его содержание в биогазе может достигать 80 % по

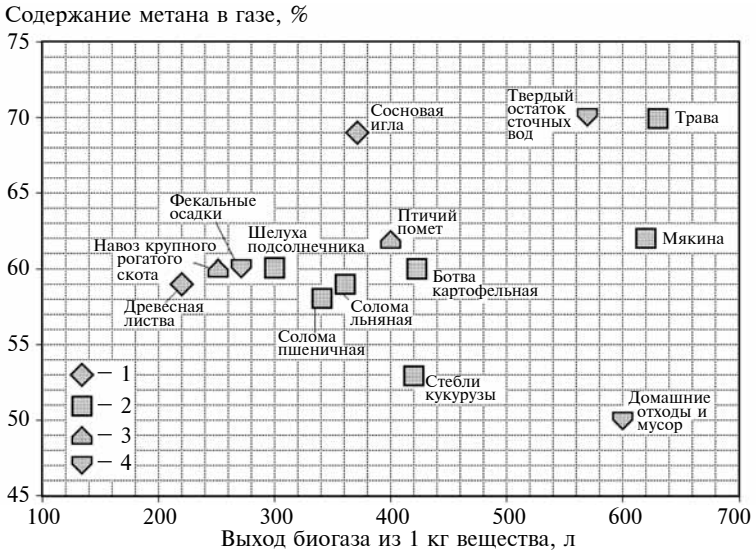


Рис. 3. Эффективность переработки различных отходов:

1 — отходы лесопромышленного комплекса; 2 — отходы растениеводства; 3 — отходы животноводства и птицеводства; 4 — твердые бытовые отходы и канализационные стоки

объему). Содержание другого значимого компонента биогаза — углекислого газа обычно не превышает 35 %. Остальные компоненты содержатся в биогазе в незначительных количествах (как правило, не более 1 %). Некоторые физико-химические свойства биогаза приведены в таблице [10]. Там же для сравнения даны свойства нефтяного дизельного топлива и природного газа (метана).

Полученный на биогазовых установках биогаз может быть использован в качестве моторного топлива для транспорта, для питания двигателей внутреннего сгорания стационарных установок различного назначения, для обогрева зданий и сооружений, в качестве бытового газа. При этом на биогаз могут быть конвертированы как бензиновые двигатели с принудительным воспламенением рабочей смеси, так и дизели. Однако сжигание биогазового топлива в дизелях при высоких степенях сжатия и повышенных коэффициентах избытка воздуха более эффективно, чем в двигателях с принудительным воспламенением. Но следует отметить, что на процесс сгорания биогазовой смеси в объеме цилиндра дизеля влияют высокие температуры самовоспламенения этой смеси (как и рабочей смеси метана и воздуха), составляющие 600—800 °С (в зависимости от конструктивных особенностей и режима работы двигателя).

Эти значения существенно превышают температуры самовоспламенения рабочей смеси капель нефтяного дизельного топлива с воздухом (180—420 °С, рис. 4) [13]. Поэтому весьма проблематично самовоспламенение биогазовой смеси только за счет теплоты сжатия в камере сгорания дизеля. Возможно воспламенение рабочей смеси биогаза с воздухом от свечи зажигания или от запальной дозы ди-

Физико-химические свойства дизельного топлива, биогаза и природного газа

Физико-химические свойства	Топливо		
	ДТ	Биогаз	Природный газ
Формула состава	$C_{16,2}H_{28,5}$ (условная)	CH_4 (60—80 % по объему) CO_2 (15—35 %) H_2 (до 1 %) H_2S (до 1 %) примеси (3%)	CH_4 (95 % по объему) CO_2 (1 %) N_2 (до 15 %) Примеси (2,5 %)
Плотность при 20 °С, кг/м^3	830	1,16*	0,809
Теплота сгорания, МДж/кг	42,5	20,2*	48,4
Цетановое число	45	1*	3
Температура самовоспламенения, °С	250	700*	540
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12*	17,2
Метановое число	—	123*	100

* Приведены усредненные значения.

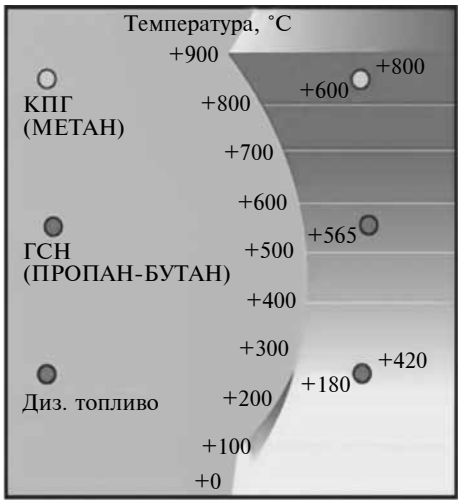


Рис. 4. Температуры воспламенения топлив:

КПГ — компримированный природный газ; ГСН — газ сжиженный нефтяной

зельного топлива. При этом следует учитывать, что для воспламенения биогазового топлива необходимо значительно увеличить энергию искрообразования, по сравнению с обычными бензиновыми двигателями, а подведенная с запальным дизельным топливом энергия в 100—10 000 раз больше, чем энергия искрообразования свечи зажигания.

Одним из наиболее перспективных направлений применения биогаза является производство из него электроэнергии, например по технологической схеме, представленной на рис. 2. При переработке сельскохозяйственных отходов в биогаз, а затем в электроэнергию могут быть рассмотрены четыре варианта.

1. Биогазовая установка с электроагрегатом находятся рядом с животноводческим комплексом.

2. Источники органического сырья рассредоточены по территории вокруг биогазовой установки с электроагрегатом.

3. Биогазовые установки с электроагрегатом рассредоточены по территории.

4. Биогазовые установки рассредоточены по территории вокруг электроагрегата.

Второй, третий и четвертый варианты характерны для переработки отходов небольших фермерских хозяйств. В первом варианте расположение биогазового реактора у животноводческого комплекса позволяет обеспечить его достаточным количеством органического сырья для получения биогаза. Животноводческий комплекс крупного рогатого скота должен ежедневно обеспечиваться кормовыми ресурсами.

Для загрузки биогазовой установкой производственной мощностью по биогазу 250 м^3 в сутки требуется иметь навоз от стада примерно в 200...220 голов, что потребует ежедневной доставки 12...14 т зеленых кормов, которые должны быть получены со 100...150 га пастбищ.

С учетом распределения луговых трав в средней полосе России доставка кормов будет производиться в среднем на расстояние около 10 км, что потребует затрат на перевозку зеленой массы 100...150 т · км ежедневно. Возврат на поля органического удобрения — эффлюента также составит 100...150 т · км ежедневно [14]. В результате суммарные энергозатраты на транспортировку составят около 250 т · км ежедневно.

Во втором варианте обеспечение биогазовой установки органическим сырьем потребует его доставки с территории из расчета суточной загрузки 8...9 т навоза крупного рогатого скота при средней протяженности доставки, как и в первом варианте, — 10 км. В результате транспортная работа составит 80...90 т · км ежедневно. Возврат эффлюента на поля также составит 80...90 т · км ежедневно. В результате суммарные энергозатраты на транспортировку составят около 170 т · км ежедневно, что на 80 т · км меньше, чем в первом варианте.

Третий вариант наименее предсказуем, так как производство электрической мощности пойдет в основном на покрытие собственных нужд. Он приведет к большим тепловым потерям и низкому электрическому КПД вследствие малой мощности электроагрегатов и их работе не на полной нагрузке. Транспортные расходы могут составить на среднем расстоянии около 1 км, затраты на транспортировку зеленой массы 12...14 т · км ежедневно и 12...14 т · км на транспортировку эффлюента. В результате суммарные энергозатраты на транспортировку составят около 25 т · км ежедневно, что на 220 т · км меньше, чем в первом варианте и на 140 т · км меньше, чем во втором.

В четвертом варианте транспортные расходы зеленой массы и эффлюента будут такими же, как и в третьем, но для работы центрального электроагрегата потребуется доставка от рассредоточенных биогазовых установок биогаза общим объемом 250 м^3 в сутки на среднее расстояние около 30 км. Газ можно доставлять в 25 газовых баллонах общим весом около 2 т, что составит энергозатраты на сбор и дос-

тавку газа около 60 т · км ежедневно. С учетом затрат на доставку зеленой массы затраты будут около 90 т · км ежедневно. В результате по четвертому варианту при такой же эффективности получения электроэнергии, как в первом и во втором, суммарные ежедневные затраты на транспортные работы будут ниже, чем в первом варианте на 160 т · км и на 80 т · км, чем во втором.

Из рассмотренных четырех вариантов организации переработки сельскохозяйственных отходов четвертый вариант получается наиболее предпочтительным. В соответствии с проведенным анализом рекомендуется следующая методика выработки электроэнергии из биогаза при использовании такой установки в крупном агропромышленном комплексе, состоящем из нескольких сельскохозяйственных объектов (животноводческих ферм и т. д.).

Наиболее целесообразно получать биогаз непосредственно на этих объектах. Но поскольку на каждой ферме выход биогаза сравнительно невелик, предлагается использовать несколько биогазовых установок со сравнительно небольшим объемом генерируемого биогаза. Для сбора этого биогаза целесообразно использовать мобильную компрессорную установку, закачивающую биогаз в баллоны под высоким давлением (20—25 МПа). Эта мобильная компрессорная установка осуществляет сбор биогаза от локальных биогазовых установок и доставляет его в компримированном виде (в баллонах) к стационарной дизель-генераторной установке, включающей дизель, работающий на биогазе, и электрогенератор, вырабатывающий переменный электрический ток.

Несомненными преимуществами такой концепции выработки электроэнергии из биогаза являются возможность бесперебойной выработки электроэнергии из биогаза на установке, содержащей сравнительно мощный первичный дизель, отличающийся высокой топливной экономичностью (двигатели небольшой мощности имеют невысокую топливную экономичность). При этом в качестве первичного двигателя для электрогенератора желательно использовать дизель, работающий на биогазе с запальной дозой дизельного топлива. Другое преимущество предлагаемой концепции выработки биогаза — возможность работы стационарной дизель-генераторной установки на промышленную электрическую сеть, что сложно осуществить в мобильных дизель-генераторных установках.

Таким образом, предлагаемый автономный энергетический комплекс для выработки электроэнергии из биогаза состоит из следующих автономных элементов (рис. 5). Локальные биогазовые установки, генерирующие биогаз, размещаются непосредственно у животноводческих ферм. Этот биогаз собирают на мобильной компрессорной установке, закачивают в баллоны под высоким давлением и доставляют в баллонах к стационарной генераторной установке. При этом дизель-генераторная установка включает в себя дизель, работающий на биогазе с запальной дозой дизельного топлива, и электрогенератор, вырабатывающий переменный электрический ток.

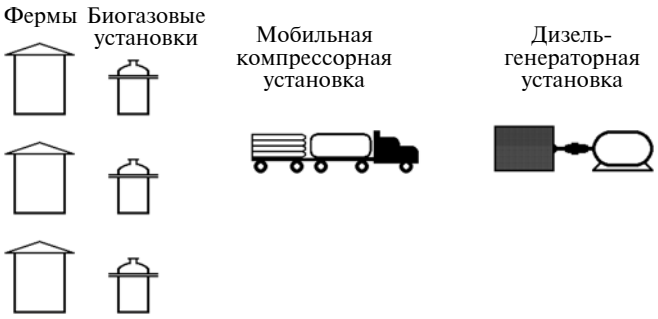


Рис. 5. Схема автономного энергетического комплекса для выработки электроэнергии из биогаза

При проведении анализа целесообразности использования биогаза как альтернативного моторного топлива авторы учитывали имеющуюся сырьевую базу для производства биогаза. По имеющимся статистическим данным необходимо отметить, что в 2012 г. поголовье крупного рогатого скота в России составило 21,3 млн голов (плюс еще 18, 8 млн голов свиней). При этом ежедневный выход бесподстилочного навоза от одной коровы составляет от 50 до 60 кг. Таким образом, годовой ресурс навоза крупного рогатого скота в России можно оценить от 350 до 400 млн т (плюс еще от 150 до 200 млн т навоза свиней).

Из одной тонны навоза крупного рогатого скота можно получить от 40 до 65 м^3 биогаза. Таким образом, потенциальное ежегодное производство биогаза из этого вида сырья может составить около 30 млрд м^3 (около 20 млрд м^3 — из навоза крупного рогатого скота плюс около 10 млрд м^3 — из навоза свиней). С учетом того, что теплотворная способность одного кубометра биогаза составляет от 20 до 25 МДж/м^3 (в зависимости от содержания метана), сгорание такого количества биогаза эквивалентно сгоранию 20 млрд л бензина, 50 млн т дров или использованию 200 млрд кВт · ч электроэнергии. Для сравнения —

20 млрд м^3 биогаза — это около 15 млн т бензина, а в настоящее время в России ежегодно потребляется около 35 млн т бензина, около 55 млн т дизельного топлива и около 10 млн т керосина [15]

Конечно, представленные энергетические характеристики на практике являются труднодостижимыми, но даже если удастся получить лишь несколько процентов такого энергетического потенциала, то это в значительной степени смягчит энергетические проблемы, стоящие перед Россией.

В целом потенциал использования биогаза можно оценить следующими данными. В России агрокомплекс ежегодно производит 773 млн т отходов, из которых можно получить 66 млрд м^3 биогаза, или около 110 млрд кВт · ч электроэнергии. Общая потребность России в биогазовых заводах оценивается в 20 тыс. предприятий. Для сравнения — потенциал биогазовой индустрии Германии оценивается в 100 млрд кВт · ч электроэнергии к 2030 г., что будет составлять около 10 % потребляемой страной энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Альтернативные топлива** для двигателей внутреннего сгорания / А. А. Александров, И. А. Архаров, В. А. Марков и др. Под ред. А. А. Александрова, В. А. Маркова. — М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2012. — 791 с.
2. **Биоэнергетика:** Мировой опыт и прогнозы развития / Л. С. Орсик, Н. Т. Сорокин, В. Ф. Федоренко и др. Под ред. В. Ф. Федоренко. — М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2008. — 404 с.
3. **Васильев И. П.** Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля. — Луганск: Изд-во Восточно-украинского университета им. В. Даля, 2009. — 240 с.
4. **Гайворонский А. И., Марков В. А., Илатовский Ю. В.** Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. — М.: ООО "ИРЦ Газпром", 2007. — 480 с.
5. **Кириллов Н. Г.** Альтернативные виды моторного топлива из биосырья для сельскохозяйственной автотракторной техники // Достижения науки и техники в АПК. — 2002. — № 2. — С. 11—15.
6. **Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М.** Биогаз: Теория и практика: перевод с немецкого. — М.: Колос, 1982. — 140 с.
7. **Гелатуха Г. Г., Кобзарь С. Г.** Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы: Обзор // Экологии и ресурсосбережение. — 2002. — № 4. — С. 3—7.
8. **Захарченко А. Н., Захарченко А. А., Сатьянов С. В.** Источники получения биогаза // Сельский механизатор. — 2011. — № 2. — С. 30—31.
9. **Сидоренко О. Д.** Биологические технологии утилизации отходов животноводства. — М.: Изд-во МСХА, 2001. — 74 с.
10. **Использование биогаза** в качестве топлива для дизелей / С. Н. Девянин, В. Л. Чумаков, В. А. Марков и др. // Грузовик. — 2011. — № 11. — С. 32—43.
11. **Девянин С. Н., Чумаков В. Л., Марков В. А.** Биогаз — альтернативное топливо для дизелей // Транспорт на альтернативном топливе. — 2012. — № 2. — С. 68—73.
12. **Инновационное развитие** альтернативной энергетики: Часть 1 / В. Ф. Федоренко, Н. Т. Сорокин, Д. С. Буклагин и др. — М.: ФГНУ "Росинформагротех". — 2010. — 348 с.
13. **Шимченко С. П., Эфрос В. В., Чернин С. Я.** Дизельный двигатель и биогаз, научный подход эффективного взаимодействия // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. — 2012. — № 7. — С. 37—41.
14. **Попов Л. А.** Эксплуатация машинно-тракторного парка в агропромышленном комплексе. — Сыктывкар, 2004. — 152 с.
15. **Использование** растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В. А. Марков, С. Н. Девянин, В. Г. Семенов и др. — М.: ООО НИЦ "Инженер", ООО "Онико-М", 2011. — 536 с.

• УПРОЧНЕНИЕ
• ПОКРЫТИЯ
• РЕМОНТ

При поддержке Северо-Западного федерального округа Российской Федерации и Комитета экономического развития, промышленной политики и торговли Санкт-Петербурга

15 – 18 апреля 2014 г.

Санкт-Петербург

16-я Международная научно-практическая конференция

«ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ, НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И РЕМОНТА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»

Темы конференции:

- **конструкционные, технологические и эксплуатационные методы повышения долговечности и надежности изделий;**
- **технологии наплавки, напыления, осаждения, сварки;**
- **технологии ремонта – диагностика, дефектация, мойка, очистка, восстановление размеров, обработка покрытий, окраска, консервация.**

К началу конференции будет издан сборник докладов.

Познакомиться с докладами предыдущих конференций

Вы можете на сайте **www.technoconf.ru**

Организаторы:

- Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
- НПФ «Плазмацентр»

Заявки на участие принимаются:

тел.: +7 (812) 444 93 37
+7 (921) 973 46 74
факс: +7 (812) 444 93 36

e-mail: info@plasmacentre.ru

ПЛАЗМАЦЕНТР

ABSTRACTS OF ARTICLES

2 *Makeev V. N., Pleshkov D. D.* The hydraulic excavator load lifting mechanism construction with the changed characteristics
In the process of excavation works done by the hydraulic excavator a lot of dig operations and earth handling factors that influence the productivity directly depend on working of the load lifting mechanism. It is set that generally used load lifting mechanism construction isn't perfect and has its drawbacks. With the purpose of their elimination, production increase of excavation works, maintainability, usage of different kinds of integral implements the change of the load lifting mechanism at the expense of the additional link in its construction is offered. It will allow to use the hydraulic excavator potential more rationally in various operational conditions and finally will allow to increase the productivity.
Keywords: construction, hydraulic excavator, load lifting mechanism, operational equipment, excavation works, productivity

5 *Evgrafov A. N., Shvedov S. B.* Effect of the trailer on the aerodynamic properties passenger trains
The features of the flow passenger train with a high trailer. Shows the effect of shape on the aerodynamic drag of the trailer passenger trains, including the presence of crosswinds.
Keywords: air resistance, high trailer, trailer form, passenger train, fuel consumption, cowl

8 *Maksimov V., Roschak S., Maksimov P.* Standards of maintenance of new models of urban BUS-52922 LiAZ in SUE "Mosgortrans"
The article presents the standards of maintenance of new models of buses LiAZ 52922 in SUE "Mosgortrans."
Keywords: operating conditions, the design of buses, effective work, labor intensity

10 *Yanchevskaya E.* The method of forecasting tires demand for a fleet for the future period Existing methods of warehousing stock controls at the fleets generally don't lead to optimized decisions. The main reason is that the replenishment of stocks is built on the physical stock residues without analysis of the demand forecast. The warehouse of tires can be an example. Within certain periods some tires can be short on supply, others can be stored without an order. Warehouse overstocking (tires surplus) can constitute 300—400 thousand rubles (8—10 thousand euro), which affects negatively operational cash flow.
In this article we propose a method of determining the ultimate tread wear life of each tire in operation, and making the balanced forecast of the tires demand for the future period. It allows to plan rationally the supply volume — the size of the batch of tires on order.
Keywords: tires, warehouse of tires, warehouse overstocking, ultimate tread life, tread wear, gradual failures of tires, sudden failures of tires, rational supply volume

14 *Bagrov V. V., Grafov D. U., Desjatov A. V., Dohov A. V., Kuterbekov K. A., Nurahmetov T. N.* Method of determining the extent of flooding solid polymer fuel cell by getting potentiodynamic curves
In the article considers a method of determining the extend of flooding solid polymer fuel cell as important characteristic that determining basics effective properties of working fuel cell. Considers theoretically description of studying effect, description of experimental plant, results of studying and conclusions on the base of getting data.
Keywords: fuel cell, solid-polymer electrolyte, solid-polymer membrane

17 *Kokodeeva N. E., Kochetkov A. V., Yankovsky L. V., Volkov G. N.* Direct method of nominative of Rabinovich of calculation of acceleration of wheel of the vehicle taking into account geometrii nerovnosti highway
Highway besides saved-up roughnesses and damages includes in structure also artificial roughnesses, such as the lying police officer, deformation seams of the bridge constructions, the milled noise sites of a paving, inclined sites of protections of chippers, a road marking thermo plastic. Process of interaction of a wheel of vehicle and listed roughnesses assumes also general methodical approach of accounting of geometry of roughnesses and vehicle speed at calculation of accelerations of a wheel for an assessment of coefficient of dynamism. Application of a direct method of Nominative of Rabinovich of calculation of acceleration of a wheel of vehicle taking into account geometry of roughnesses is considered.
Keywords: roughness, wheel, vehicle, acceleration, geometry, calculation, paving

23 *Anokhin B. B., Arzhanukhina S. P., Samodurova T. V., Kochetkov A. V.* Specialized forecast conditions of paving
The principles of drawing up forecasts of a condition of a paving, and also recommendation about collecting, processing, storage and use of hydrometeorological information, specialized forecasts of Roshydromet and specialized forecasts of a condition of a surface of a paving for the organization and carrying out a roadwork are considered.
Keywords: weather forecast, hydrometeorological information, paving, winter contents, thermomapping

31 *Chaynov N. D., Suslikov V. V.* Hardening of the crankshaft methods of surface plastic deformation
The paper describes the basic methods of strengthening crankshaft of the internal combustion engine and its influence on fatigue strength. The choice of the optimal treatment option for fillets shaft. The result of the work — created algorithm residual stresses generated in the process running fillets crankshaft rollers.
Keywords: crankshaft, rolling, hardening, residual stresses

31 *Kuzniatsou Y. V.* Choice of parameters of engine and transmission of tractor
Present mathematical modeling of caterpillar tractor with different characteristics diesel engine and hydrodynamic transmissions. Description value indexes for these machines. Investigation results theoretic researches of working tractors. Giving recommendations on characteristics engine, transmission and control system of transmission.
Keywords: tractor, engine constant power, hydrodynamic transmission, friction clock hydrodynamic transformation, mathematical modeling

41 *Markov V. A., Devyanin S. N., Shimchenko S. P.* Using biogas for generating electric power in agro industrial complexes
Technology of biogas production from agricultural industry wastes is introduced. Physical-chemical properties of biogas are presented. The concept of generating electric power from biogas is suggested. The article is published within the framework of Federal target programed "Research and development works in priority areas of academic and technological complex development of Russia in 2007—2013".
Keywords: diesel engine, diesel fuel, biogas, diesel generator set

Художественный редактор *Т. Н. Галицына*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Е. В. Комиссарова*
Сдано в набор 18.12.2013. Подписано в печать 18.02.2014. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5.88.
Отпечатано в ООО «Белый ветер», 115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4