

## ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Брютов А.А. – студент гр. ДВС-01, Сеначин П.К. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Актуальность темы.** Сегодня порядка 60% из общего количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу крупных городов, приходится на автомобильный транспорт. Упрощённое описание физико-химических процессов в двигателях не позволяет исследователям решать широкий круг экологических, экономических и технических задач, связанных с дальнейшим совершенствованием ДВС. Поэтому построение адекватных физических моделей и создание по ним компьютерных программ по-прежнему является актуальными задачами.

**Цель работы.** Разработка математической модели и рабочей программы (программного продукта), которые описывают термодинамическое состояние рабочего тела в рамках многозонного приближения, включающее распространение турбулизированного сферического фронта пламени в условиях реальной геометрии камеры сгорания и цилиндра двигателя и химическое состояние компонентов газовой смеси продуктов сгорания на основе уравнений сохранения энергии и массы и химических превращений продуктов сгорания.

**Проблема.** Двигатели внутреннего сгорания (ДВС), в том числе транспортные, парк которых непрерывно увеличивается, являются одними из основных загрязнителей окружающей среды. Поэтому прогнозирование выбросов токсичных веществ с отработавшими газами ДВС, с целью разработки конструктивных и организационно-технических мероприятий по их снижению, является одной из важнейших научно-технических проблем.

В настоящее время моделирование образования токсичных веществ в ОГ ДВС проводится на основе различных эмпирических формул, имеющих весьма ограниченное применение, а именно в пределах конструктивных (для двигателя), термодинамических и стехиометрических (для рабочего тела) параметров процесса, при которых проводились эксперименты и были получены эти эмпирические формулы. Это не отражает все особенности физико-химического процесса. Корректное прогнозирование образования токсичных веществ в продуктах сгорания ДВС помогло бы содействовать в снижении этих выбросов в проектируемых двигателях.

**Решение.** Подход к созданию двигателей, основанный не на эмпирических формулах сгорания и образования токсичных веществ, а на строгих физических и химических процессах, сокращают период разработки новой техники, в результате математического моделирования объём экспериментальных работ значительно сокращается, что даёт существенный экономический эффект при необходимом улучшении экологических характеристик.

**Выводы.** С помощью программы (рисунки 1-2), которая включает приведённые модели можно оптимизировать рабочий цикл поршневого двигателя, в том числе улучшить эксплуатационные, экономические и экологические характеристики (привести в соответствие с международными стандартами). Таким образом, с её помощью можно одновременно решать экономические (оптимизация рабочего цикла: повышение КПД и минимизация расхода топлива) и экологические (снижение выбросов токсичных веществ в атмосферу) проблемы ДВС.

Данная работа выполняется при поддержке Федерального агентства по делам молодёжи в рамках гранта Всероссийского конкурса молодёжных проектов 2013.

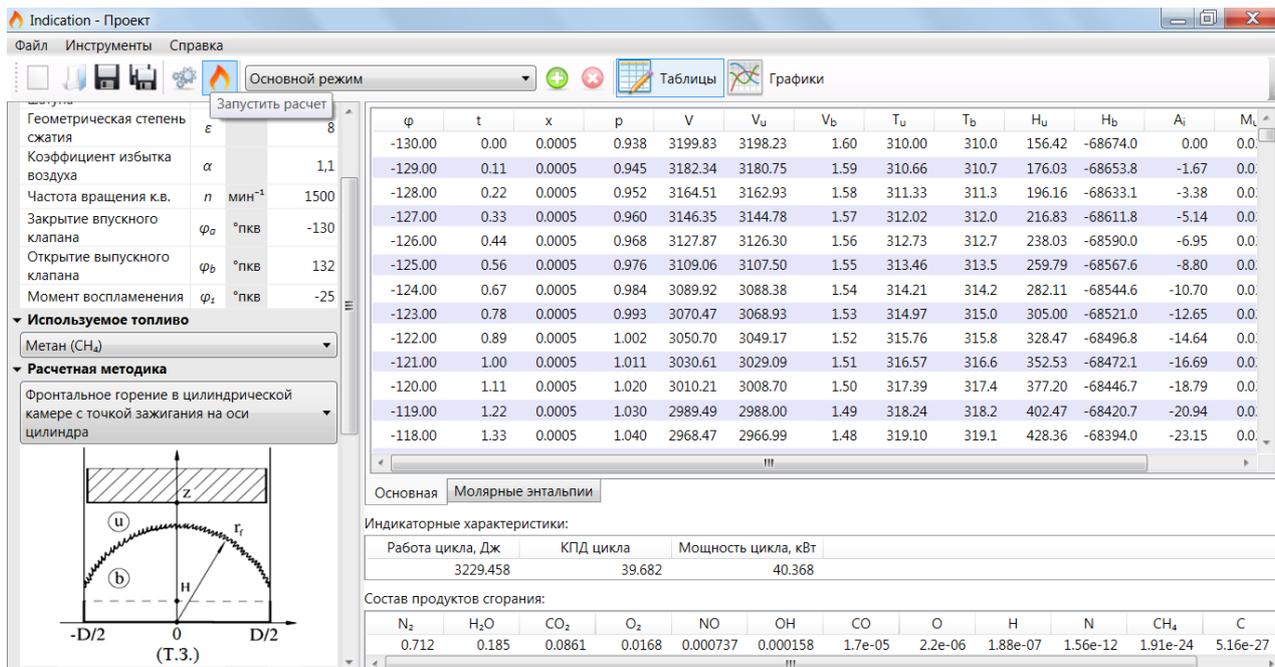


Рисунок 1 – Разработанный программный продукт. Основное окно

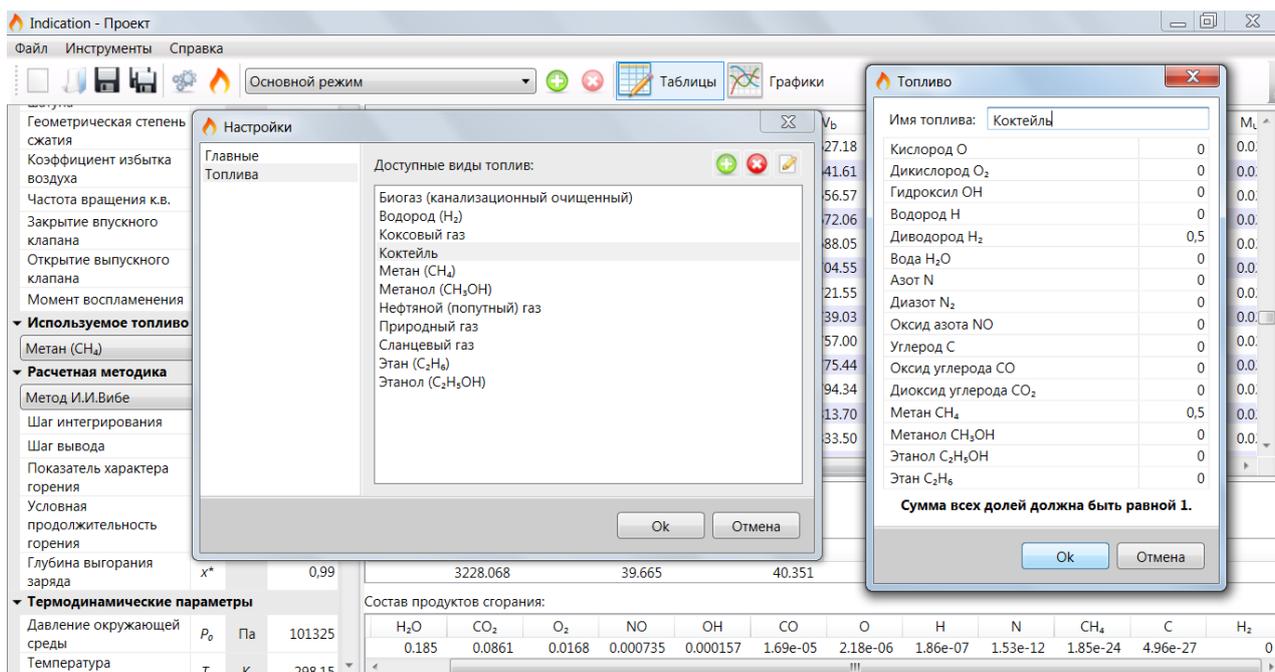


Рисунок 2 – Разработанный программный продукт. Окно настройки топлив

### Список литературы:

1. Брютов, А.А. Моделирование и оптимизация рабочего процесса газового двигателя / А.А. Брютов, П.К. Сеначин // Известия международной академии аграрного образования. – СПб: Изд-во СПб РО МААО, 2013. – №16.
2. Сеначин, А.П. Моделирование образования токсичных веществ в двигателе внутреннего сгорания / А.П. Сеначин // Ползуновский вестник, 2012. – № 3/1. – С. 140-149.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ ЦИЛИНДРА ПРИ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЕ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Яров В.С.–аспирант, Балашов А.А.–д.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Наряду с экспериментальными методами исследования процессов газообмена поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС), в последнее время начинают интенсивно развиваться расчетно–теоретические, необходимость в которых постоянно возрастает из–за их значительных преимуществ.

Для численного исследования эффективности функционирования дополнительной системы выпуска отработавших газов (ОГ) разработана математическая модель процессов газообмена. Дополнительные окна выполненные в гильзах цилиндров на уровне нижней мертвой точки поршня (НМТ) золотникового механизма газораспределения (МГР) позволяют повысить эффективные мощность и КПД 4– тактного ПДВС. Это происходит в основном за счет снижения затрат энергии на процесс вталкивания ОГ при движении поршня от НМТ к верхней мертвой точке (ВМТ). Поэтому предлагаемая математическая модель для численного исследования эффективности функционирования золотниковой системы МГР, то есть двигателя в варианте ДОГ (двигатель с окном вгильзе), а так же, параллельно с этим, для определения оптимальных фаз открытия дополнительных окон в гильзе цилиндра, затрагивает только процесс выпуска ОГ от начала выпуска до открытия впускного клапана, т.к. на этом участке и будут проявляться основные различия между 4– тактными ПДВС традиционным клапанным и комбинированным (клапанным+золотниковым) МГР, то есть двигателями в варианте ДОГ.

Математическая модель процессов газообмена на участке выпуска в общем случае включает в себя систему дифференциальных уравнений нестационарных процессов массообмена и теплообмена в надпоршневой полости, систему дифференциальных уравнений неустановившихся процессов в выпускном канале, систему граничных условий (течение газа через каналы с клапанами и выходом сечения выпускного канала). На практике данные системы уравнений обычно решаются при некоторых допущениях, позволяющих существенно упростить решение при приемлемой для конкретных целей исследований точностью. В зависимости от целей и начальных условий исследований, уточняются допущения, а соответственно и исходная система уравнений.

Разработанная математическая модель процесса выпуска ОГ для двигателей оборудованных комбинированным МГР базируется на математической модели процесса выпуска ОГ созданной Дьяченко В.Г для двигателей оборудованных только традиционным клапанным МГР., которая приведена в книге «Теория двигателей внутреннего сгорания» 2009 г.. Эта математическая модель может применяться как самостоятельно для расчета ДОГ, так и для проведения сравнительного анализа и определения оптимальных фаз газораспределения дополнительных окон в гильзе цилиндров, а также как составная часть других математических моделей охватывающих весь цикл работы 4- тактных ПДВС в варианте ДОГ.

Конечной целью математической модели процесса выпуска в ДОГ, является определение потери энергии на удаление ОГ из цилиндра и сравнения с результатами потери энергии при моделировании процесса выпуска ОГ в 4– тактном ПДВС с традиционным клапанным МГР, с целью определения эффективности функционирования системы двойного выпуска и оптимизации фаз открытия и закрытия дополнительных окон золотникового МГР.

Математическая модель базируется на следующих допущениях:

- – процесс принимается квазистационарным;
- – давление во впускном коллекторе принимается постоянным

и средним посечению;

- – параметры продуктов сгорания в цилиндре принимаются

равновесными

- – реакции окисления топлива принимаются завершившимися до момента начала выпуска ОГ;
- – истечение ОГ из цилиндра происходит адиабатно;
- – потери теплоты происходят только в надпоршневой полости через поверхности: зеркало цилиндра, головку цилиндра и днище поршня.

Для обеспечения соответствия базовой математической модели процессам протекающим в ДОГ были модернизированы следующие расчетные зависимости:

- – т.к. при использовании золотникового МГР добавляются окна в гильзе цилиндра, т.е. дополнительное проходное сечение, поэтому изменено выражение для определения эффективного проходного сечения. В разрабатываемой математической модели оно определяется как сумма эффективных проходных сечений выпускного клапана и окна с соответствующей корректировкой на фактическое открытие сечения по углу поворота коленчатого вала. Текущее суммарное эффективное сечение будет определяться:

$$(\mu_B * f_B)_{\Sigma i} = (\mu_B * f_B)_i^K + (\mu_B * f_B)_i^O, \text{ м}^2$$

где  $(\mu_B * f_B)_i^K, (\mu_B * f_B)_i^O$  – текущее значение эффективного проходного сечения выпускных клапана и окна, соответственно;

Текущие значения эффективных проходных сечений выпускных клапана и окна определяются по тем же зависимостям, что и в базовой математической модели;

- – используя, результаты термодинамического анализа адиабатного и политропного процессов расширения рабочего тела в потоке, а также полученные зависимости для определения коэффициента расхода  $\mu$ , коэффициента газодинамических потерь  $\xi$  и изменения энтропии  $\Delta S$  была модернизирована формула для определения массы ушедшего газа из надпоршневой полости за расчетный период

$$\Delta M_{\text{цвi}} = \frac{p_i}{R_T * T_i} * \left(\frac{p_T}{p_i}\right)^{\frac{1}{k_T}} * (\mu_B f_B)_{\Sigma i} * \sqrt{2 * \frac{k_T}{k_T - 1} * T_i^* * \left[1 - \left(\frac{p_m}{p_i^*}\right)^{\frac{k_m - 1}{k_m * (\xi + 1)}}\right]} * \Delta \tau$$

или

$$\Delta M_{\text{цвi}} = \frac{p_i}{R_T * T_i} * \left(\frac{p_T}{p_i}\right)^{\frac{1}{k_T}} * (\mu_B f_B)_{\Sigma i} * \sqrt{2 * \frac{k_T}{k_T - 1} * T_i^* * \left[\frac{e^{\frac{\Delta S}{c_p}} - 1}{(\xi + 1) * e^{\frac{\Delta S}{c_p}}}\right]} * \Delta \tau$$

где  $p_i^*, T_i^*$  – текущие заторможенные давление и температура газа в надпоршневой полости, соответственно;

$p_i, T_i$  – текущие статические давление и температура газа в выпускном коллекторе;

$R_m, p_m, k_m$  – газовая постоянная продуктов сгорания, давление в выпускном коллекторе, показатель адиабаты продуктов сгорания, соответственно;  $\Delta \tau$  – промежуток времени.

Разработанная математическая модель показывает результаты согласующиеся с теоретическими предположениями и имеет достаточно точность при сравнении с экспериментальными данными.

## СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ С СИСТЕМОЙ COMMONRAIL

Бобров С.П. – магистрант, Яковлев С.В. - к.т.н., старший преподаватель  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время все острее становится вопрос о загрязнении окружающей среды. Автомобильный транспорт является одним из основных источников вредных выбросов в атмосферу. Законодательно ужесточаются требования к производителям по количеству выбросов вредных веществ. Одни из способов достижения необходимых норм токсичности, это подавление количества вредных веществ в процессе сгорания топлива, при помощи гибкого регулирования топливоподачей.

**Цель исследования.** Снизить выброс в атмосферу вредных веществ в составе отработавших газов дизеля, с системой топливоподачи повышенного давления CommonRail (в дальнейшем CR).

**Задачи.** Проведение моторных испытаний и сравнительного анализа рабочего процесса дизеля при его работе с топливоподающей аппаратурой повышенного давления типа CR и с топливной аппаратурой непосредственного действия (в дальнейшем ТАНД).

**Объект исследования.** рабочий процесс дизеля.

**Предмет исследования.** отработавшие газы дизеля.

Экспериментальная часть проводилась на разработанной экспериментальной установке в лаборатории кафедры ДВС Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова [4]. Программа проведения экспериментальных исследований на моторной установке, предусматривает снятие серии нагрузочных, регулировочных характеристик как с ТАНД, так с топливоподающей аппаратурой (в дальнейшем ТПА) CR. В ходе эксперимента была получена регулировочная характеристика по давлению в рампе (Ррамп) без предварительного впрыска, с максимальным давлением в рампе  $P_{рамп}=160$  МПа. В результате обработки данных протокола испытаний построен график (рисунок 1) зависимости выбросов  $NO_x$ , CO, C от величины давления в рампе. Наблюдается значительный рост  $NO_x$  при увеличении давления в рампе.

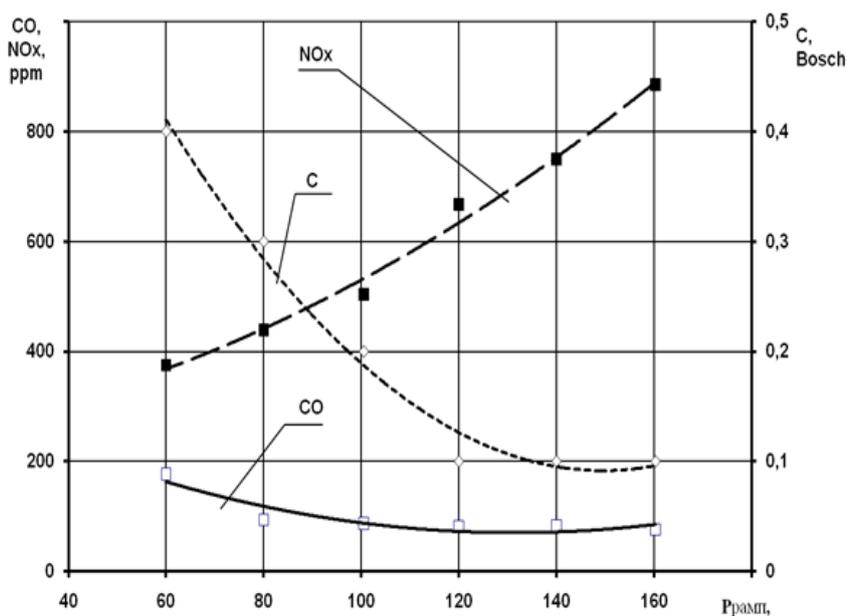
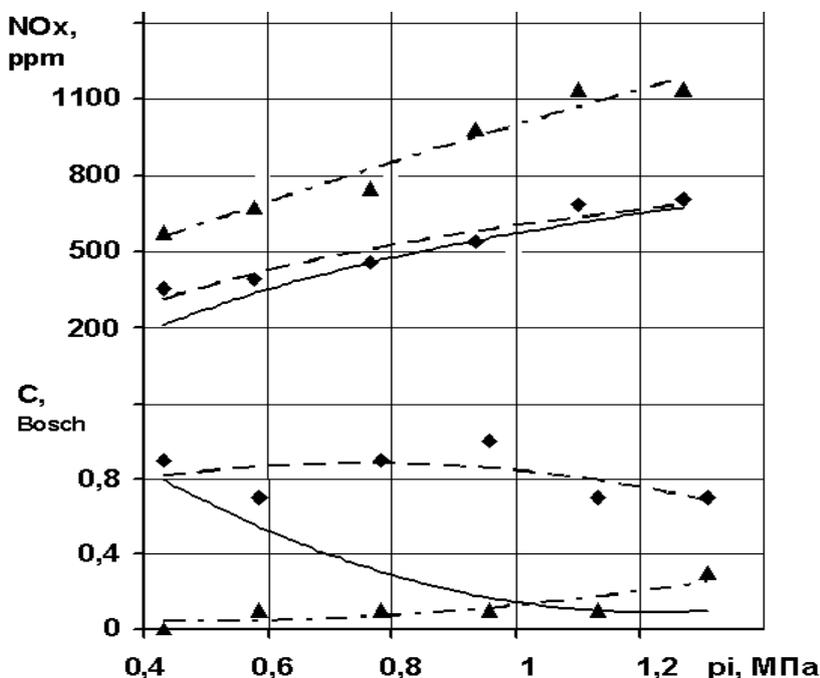


Рисунок 1 - Зависимости выбросов  $NO_x$ , CO, C от величины Ррамп

Сняты нагрузочные характеристики как с ТАНД, так с ТПА CR. Эксперимент показал, что введение предварительного впрыска топлива позволяет уменьшить выбросы  $NO_x$ . Так как возможности экспериментальной установки не позволяют осуществить трех и более стадийный впрыск, то была выбрана математическая модель рабочего процесса и выбросов токсичных веществ с отработавшими газами дизеля с системой топливо-

подачи CR.

В данной работе использована термодинамическая программа Дизель-РК, разработанная в МГТУ им. Баумана. Данная программа среди всех доступных программ отечественного производства наиболее полно учитывает особенности топливоподачи с повышенным давлением впрыска (CR). С помощью уточненных блоков математической модели произведено численное исследование рабочего процесса дизеля с системой топливоподачи CR с целью уменьшения окислов азота, не ухудшая других основных показателей экологичности.



В результате численного эксперимента выявлено, что уменьшить количество вредных выбросов дизеля при повышенных давлениях впрыска возможно путем изменения закона топливоподачи. Введение многостадийного впрыска позволило добиться снижения оксидов азота до значений соответствующих при использовании ТАНД и уменьшить в ОГ продукты неполного сгорания.

Рисунок 2 - Нагрузочная характеристика при  $\theta=16^\circ$  п.к.в. до ВМТ,  $n=1750\text{мин}^{-1}$  (эксперимент: ----- ТПА; - - - - - CR с 1-о стадийным циклом топливоподачи; численное моделирование: ————— CR с 4-х стадийным циклом топливоподачи)

#### Список литературы:

1. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов - М.: Машиностроение, 1981. - 160 с.
2. Кулешов А.С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. Описание математических моделей, решение оптимизационных задач. М., МГТУ им. Баумана, 2004. - 123 с., ил.
3. Кулманаков, С.П. Экспериментальный моторный комплекс с системой топливоподачи типа «CommonRail» для дизельных двигателей размерностью D/S=130/140 / С.П.Кулманаков, А.В. Шашев, С.В. Яковлев, С.С. Кулманаков // Сборник научных трудов международной конференции Двигатель 2010: сб. ст. / МГТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 2010. - С. 338-341.
4. Кульчицкий, А. Р. Токсичность автомобильных и транспортных двигателей Владимир, Изд-во Владимирского государственного университета, 2000 - 256 с.

## РАЗРАБОТКА ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЯ С ФУНКЦИЕЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ТОПЛИВА

Кох К.В. – аспирант, Таусенев Е.М. – к.т.н., докторант, Свистула А.Е. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Актуальность.** Известно отрицательное воздействие повышения температуры топлива в дизельной топливной системе. Дизельное топливо нагревается от 20...40 °С до 70...100 °С, двигаясь к соплам распылителя. Топливо подогревается в результате выделения тепла при сжатии, от более нагретых стенок топливопроводов и других деталей, от трения в процессе движения по топливной системе и др. [1].

Исследования с искусственным подогревом топлива показывают снижение мощности дизеля в условиях эксплуатации до 19 %, удельный эффективный расход топлива почти не изменяется, либо увеличивается на 4 г/кВт·ч, отмечается незначительное влияние температуры топлива на выбросы NO<sub>x</sub>, СН, СО, СО<sub>2</sub> и дымность [1, 2, 3]. Отсюда следует актуальность мероприятий по снижению подогрева топлива.

**Новизна.** Для топливных систем непосредственного действия разделенного типа реализуются на практике следующие мероприятия: выбор схемы циркуляции топлива в линии низкого давления и параметров топливоподкачивающего насоса [1]. В представленной работе в качестве дополнительных мероприятий предлагается: использование специального охладителя топлива; использование теплоизоляции топливопроводов и топливных фильтров.

**Цель исследования:** разработка топливной системы дизеля непосредственного действия разделенного типа с функцией термостабилизации топлива, позволяющей минимизировать увеличение температуры топлива в условиях эксплуатации дизеля.

**Задачи исследования:** изучить степень подогрева топливопроводов в условиях эксплуатации; выбрать теплоизоляционные материалы и схему их нанесения на топливопроводы и топливные фильтры; проверить эффективность теплоизоляционных мероприятий на физической модели топливопровода и фильтра; проверить эффективность теплоизоляционных мероприятий на топливном стенде с моделированием условий моторного отсека; разработать охладитель топлива и проверить его эффективность на топливном стенде; проверить эффективность топливной системы дизеля с функцией термостабилизации топлива на топливном стенде с моделированием условий моторного отсека; провести сравнительные стендовые испытания дизеля с моделированием условий моторного отсека для проверки эффективности разработанной топливной системы.

**Методика и результаты.** На сегодняшний день выполнено следующее: изучена степень подогрева топливопроводов в условиях эксплуатации, выбраны теплоизоляционные материалы и схема их нанесения на топливопроводы.

В результате экспериментов на сельскохозяйственном тракторе К-744 Р2 выявлено, что нагрев стенок топливопроводов происходит в результате взаимодействия с горячим воздухом моторного отсека, за счёт их контакта и лучистого теплообмена с другими нагретыми деталями топливной аппаратуры и дизеля [4]. В работе [4] изучено влияние указанных факторов на температуру топливопроводов тракторного дизеля с топливной системой непосредственного действия разделенного типа. Получены новые данные о том, что температура стенок топливопроводов высокого давления равна 70 °С, из них на 24 °С (53,3 %) они подогреваются от горячего воздуха моторного отсека; на остальные факторы, исключая температуру атмосферы, приходится 21 °С. Температура воздуха в моторном отсеке составила 74 °С. Исходя из этих данных можно сделать вывод о возможной эффективности теплоизоляции топливопроводов и топливных фильтров.

Предварительный выбор материалов для теплоизоляции выполнялся по коэффициенту  $\lambda$  теплопроводности, заявленному производителями. Экспериментальная

оценка теплоизолирующей способности материалов проведена путем сравнения кривых охлаждения воды, заключенной в сосуд, покрытый теплоизоляцией в различных вариантах. Эта методика позволит, не определяя фактические коэффициенты  $\lambda$  исследуемых образцов материалов, выяснить какой из них имеет лучшую теплоизолирующую способность.

В представленном исследовании использовались стеклянные цилиндрические сосуды объемом  $0,0053 \text{ м}^3$  из бесцветного прозрачного силикатного стекла с металлическими завинчивающимися крышками. Наружный диаметр сосуда без теплоизоляции составляет  $0,077 \text{ м}$ , высота без горловины –  $0,105 \text{ м}$ , толщина стенки –  $0,002 \text{ м}$ . Указанный материал сосуда выбран в связи с тем, что одновременно обладает достаточной способностью проводить тепло за счет теплопроводности и лучистого теплообмена.

Сосуд до уровня горловины заполнялся водой. Вода нагревалась до кипения погружным электрическим нагревателем. В момент начала отсчета времени температура воды равнялась во всех случаях  $94,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура  $T_0$  воздуха в помещении поддерживалась на уровне  $22^{+1} \text{ }^\circ\text{C}$ , обеспечивалось отсутствие сквозняков.

В ходе исследования измерялась температура воды в поверхностном слое через интервалы времени. Время замерялось секундомером. Начало замеров производилось за  $7-10$  с до начала интервала и продолжалось в течение  $15-17$  с. Использовался термометр ТЛ-2 ртутный стеклянный лабораторный для жидких и газообразных сред с пределом допускаемой погрешности  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Всего экспериментально исследовалось  $10$  вариантов теплоизоляции сосуда: №1 – без теплоизоляции; №2 – слой жидкого теплоизоляционного полимерного покрытия (ЖТПП) толщиной  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; №3 – слой ЖТПП толщиной  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; №4 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  с фольгой, обращенной во внутрь; №5 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  и алюминиевой фольги снаружи и внутри; №6 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; №7 – вспененный закрытоячеистый полиэтилен толщиной  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  и алюминиевой фольгой снаружи; №8 – самоклеящаяся алюминиевая фольга; №9 – один слой алкидного лака с алюминиевой пудрой; №10 – слой пенополиуретана толщиной  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , полученный методом заливки, с двумя слоями фольги снаружи и внутри; №11 – один слой эмали глянцевой белой; №12 – один слой алкидного лака с алюминиевой пудрой и один слой эмали глянцевой белой. Во всех случаях крышки сосуда были без теплоизоляции.

Толщина основного теплоизоляционного материала, равная во всех вариантах  $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , принята исходя из наличия у авторов вспененного полиэтилена указанной толщины.

Анализ результатов показал, что вариант №3 с ЖТПП имеет теплоизолирующее свойство хуже, чем вариант №6 со вспененным полиэтиленом при прочих равных условиях. Значит, коэффициент  $\lambda$  для исследованного образца ЖТПП не соответствует заявленному, равному  $0,023 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  и превышает коэффициент  $\lambda$  вспененного полиэтилена равный  $0,031-0,037 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ . В ходе исследования выявлено, что ЖТПП при попадании воды разрушается; материал после нанесения слоя толщиной  $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$  требует сушки в течение  $24$  ч. Необходимо значительное время для получения ЖТПП окончательной толщины, этот вариант теплоизоляции далее использоваться не будет.

Среди материалов основного теплоизолирующего слоя лучший результат получен на образце с пенополиуретаном (вариант №10). Среди материалов отражающего теплоизолирующего слоя лучший результат получен на образцах с использованием фольги. Целесообразно нанесение 2-х отражающих слоёв фольги.

**Заключение.** Вариант №10 показал наилучший результат. Он является 3-х слойной комбинированной теплоизоляцией, обеспечивающей уменьшение теплообмена теплопередачей и излучением: слой 1 – отражающий, слой 2 – основной, слой 3 – отражающий. При использовании пенополиуретана необходимо введение эластичной оболочки. Оболочка нужна для создания слоя

пенополиуретана определенной толщины в процессе его заливки и должна повторять конфигурацию топливопровода.

С учетом теплоизолирующих, эксплуатационных и технологических свойств на топливопроводах дизеля возможно использование следующих материалов.

Для 1-го слоя: окрашивание эмалью по металлу любого цвета с последующим нанесением самоклеящейся фольги; либо электролитическое «блестящее» хромирование, дающее коэффициент отражения до 0,85 и высокие защитные свойства, максимальный блеск получают в сочетании с подслоями никеля и меди. Также для 1-го (отражающего) слоя применима металлизация. Металлизация получается методом вакуумного напыления металлов (алюминия, хрома). Изделия могут быть изготовлены из разных материалов (пластмассовые, стальные, алюминиевые, стеклянные).

В качестве 2-го (основного) слоя следует рекомендовать пенополиуретан в сочетании с эластичной, прозрачной, тонкостенной, достаточно прочной полимерной оболочкой, устойчивой к дизельному топливу и выдерживающей температуру до  $+80\dots+100^{\circ}\text{C}$  (например, полиуретан, хлорированный поливинилхлорид). Технология заливки пенополиуретана в полимерную или металлическую оболочку используется при изготовлении теплоизолированных труб [5].

В качестве 3-го (отражающего) слоя авторы статьи рекомендуют металлизацию полимерной оболочки. Например, алюминий, напыленный в вакууме, с последующей полировкой обеспечивает коэффициент отражения 0,95.

В результате, на данном этапе исследования обосновано применение теплоизоляции для топливопроводов дизеля, выбраны теплоизоляционные материалы. В ближайшее время потребуются определить критический диаметр и толщину теплоизоляции уже для физической модели топливопровода. Также на выбор наружного диаметра теплоизоляции может повлиять компоновка конкретного двигателя. Эффективность теплоизоляции будет проверена на физической модели топливопровода.

#### Список литературы:

1. Таусенев Е.М., Свистула А.Е. Применение теплоизоляторов при ремонте, техническом обслуживании и модернизации топливной аппаратуры дизелей. Постановка цели, выбор объекта и методов исследования//[technomag.edu.ru](http://technomag.edu.ru): сайт электронного научного журнала «Наука и образование», Москва. МГТУ, №8, 2012. URL:<http://technomag.edu.ru/doc/452551.html> (дата обращения: 25.04.2014).
2. Foster D. B.; Jung W. Einfluss der Kraftstoff-Eingangstemperatur auf die Leistungs- und Drehmoment-werte von Dieselmotoren. In: MTZ 63 (2002), Nr. 4, S. 296–301.
3. Foster D. B.; Jung W. The Influence of the Fuel Inlet Temperature on Diesel Engine Exhaust Gas Emissions. In: MTZ 64 (2003), Nr. 4, S. 7–8.
4. Таусенев Е.М., Экспресс-исследование температуры топливопроводов дизельной топливной системы разделенного типа/ К.В. Кох, А.Е. Свистула, Е.А. Герман// Ползуновский вестник. - 2013. - № 4/3. - С. 95-99.
5. Теплоизоляционные материалы Elastopor® Н. Пенополиуретановая изоляция труб // [basf.ru](http://basf.ru): сайт химической компании BASF. – 2014. URL:[http://www.basf.ru/ecp2/Business\\_Segments\\_products\\_and\\_markets\\_russia/PU\\_pipe\\_insulation](http://www.basf.ru/ecp2/Business_Segments_products_and_markets_russia/PU_pipe_insulation) (дата обращения: 02.04.2014).

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ «COMMONRAIL», РАБОТАЮЩЕГО НА БИОТОПЛИВАХ

Терещенко И.С. – магистрант, Кулманаков С.П. - к.т.н, доцент, профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Актуальность работы.** Обусловлена необходимостью замены нефтяных моторных топлив альтернативными топливами, что связано с истощением запасов нефти и возрастанием стоимости ее добычи, ужесточением требований к топливу и к экологическим показателям ДВС. В настоящее время большее внимание уделяется получению топлив из возобновляемых ресурсов (прежде всего на основе биомассы). Особый интерес вызывает использование рапсового масла, как топлива для дизельных двигателей.

Для традиционных механических систем впрыска при использовании новых топлив с увеличенными значениями вязкости и плотности значительно ухудшаются процессы распыливания и смесеобразования, вследствие чего наблюдается неполное сгорание, образование нагара и лаковых отложений.

В последнее время одними из наиболее перспективных для транспортных установок с дизелями считаются аккумуляторные системы топливоподачи, особенно в сочетании с электронным управлением процессом впрыскивания, что обеспечивает высокие давления впрыска, позволяет гибко управлять характеристикой топливоподачи, осуществлять многофазную подачу, в т.ч. и более эффективно использовать биотоплива.

При изучении процессов смесеобразования в дизелях для различных систем топливоподачи эффективными являются исследования динамики развития топливной струи и ее структуры методами оптической диагностики.

## **Научная новизна:**

- использование чистого рапсового масла как топлива для дизельного двигателя с аккумуляторной системой топливоподачи, обеспечивающей высокое давление впрыска;
- в сравнительных экспериментальных исследованиях подтверждены целесообразность и достоинства использования РМ в дизеле с системой питания «CommonRail».

## **Основные задачи исследования:**

1. Проведение сравнения физико-химических свойств ДТ, РМ и эфира РМ.
2. Проведение оптического исследование топливной струи
3. Обработка данные исследования топливной струи и сравнение результаты для различных топлив
4. Проведение моторных испытаний надвигателя УК – 2 в АлтГТУ им. И.И. Ползунова
5. Обработка данные моторных испытаний
6. Формулировка выводов по сравнению основных показателей двигателя (КПД, экономичность, экологичность и т.д.)

## **Результаты оптического исследования топливной струи**

Проведенные исследования топливной струи показали, что использование аккумуляторной топливной системы "CommonRail" по сравнению с топливной аппаратурой непосредственного действия позволяет обеспечить уменьшение размера капель топлива, увеличение скорости и площади топливной струи, снижение доли крайних диапазонов нормированной яркости площади, что свидетельствует о более однородной структуре топливной струи как для дизельного топлива, так и для более вязкого и тяжелого биотоплива.

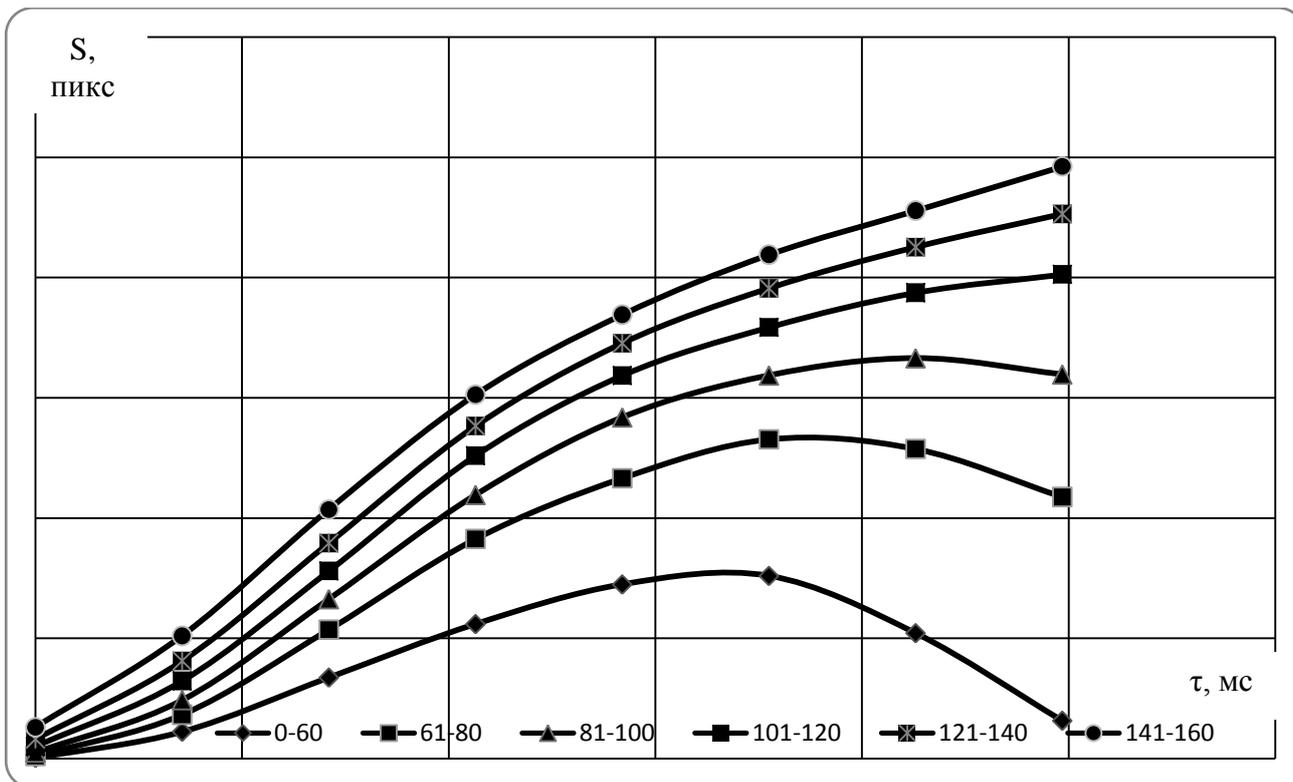


Рисунок 1 - Общая площадь топливной струи и распределение по яркостным зонам для топливной системы "CommonRail" при давлении 180 МПа при использовании рапсового масла

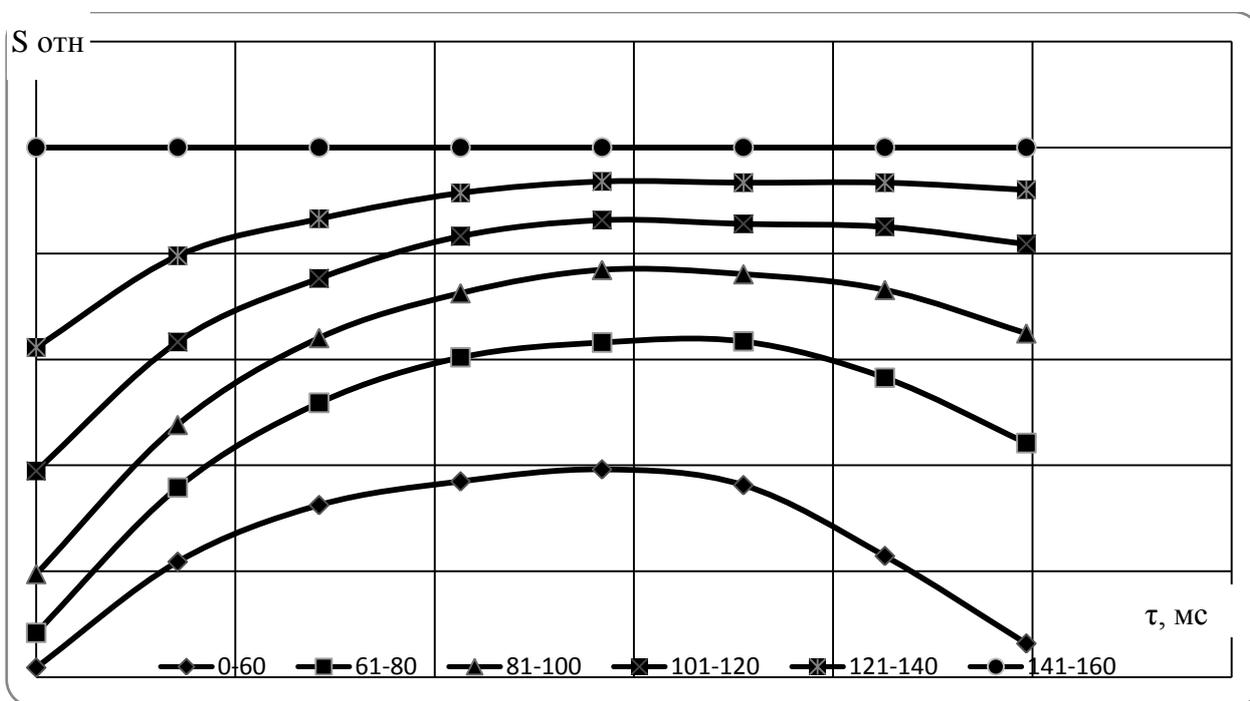


Рисунок 2 - Соотношение яркостных зон для топливной системы "CommonRail" при давлении 180 МПа при использовании рапсового масла

## СИСТЕМА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Зимонин К.П. – студент, Павлюк А.С. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

На сегодняшний день автомобильной промышленностью выпускается большое разнообразие двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с различными системами смесеобразования и зажигания. К недостаткам данных систем можно отнести сложную конструкцию, недостаточную топливную экономичность и как следствие низкие экологические показатели. В настоящее время улучшение показателей дизельных ДВС ограничивается качеством распыла топлива, что вынуждает повышать давление впрыска, достигающее до нескольких сотен мегапаскалей, это усложняет и удорожает топливную аппаратуру. В двигателях с искровым зажиганием возникают проблемы при повышении степени сжатия и обеспечению работы на обеднённых топливовоздушных смесях. По данным направлениям ведутся исследования, с целью повышения топливной экономичности и экологичности современных ДВС. Одним из направлений этих исследований является изучение возможности применения электрогидравлического эффекта для смесеобразования и воспламенения топливовоздушной смеси [1, 2, 3].

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) - промышленный способ преобразования электрической энергии в механическую, совершающийся без посредства промежуточных механических звеньев, с высоким КПД. Впервые использовал его Л.А. Юткин, положив начало электрогидравлике [4]. Сущность этого способа состоит в том, что внутри объема жидкости, находящейся в открытом или закрытом сосуде, производится специально сформированный импульсный электрический разряд. Вокруг зоны его образования, возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений, а так же распылением и воспламенением топлива [2].

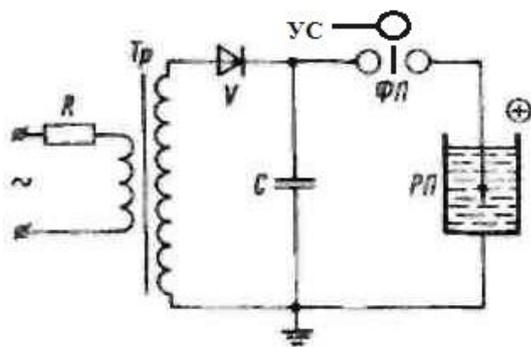


Рисунок 1 - Электрическая схема для воспроизведения ЭГЭ с одним формирующим промежуток R - зарядное сопротивление; Тр – трансформатор; V – выпрямитель; ФП - формирующий искровой промежуток; РП – рабочий искровой промежуток в жидкости; C - рабочая емкость – конденсатор; УС – управляющий сигнал;

Представляет большой интерес возможность применения ЭГЭ для смесеобразования и воспламенения рабочей смеси. Для проверки работоспособности схемы было собрано устройство [2], питающим элементом которого является генератор импульсных токов, представленный на рисунке 1. Управляющим сигналом служит разряд с системы зажигания. Работоспособность устройства проверялась вне камеры сгорания на нескольких образцах топлива (этиловый спирт, ацетон, бензин, дизельное топливо и отработанное моторное масло).

В устройство заливалось топливо. После подачи разряда, происходил выброс распылённого горящего топлива в виде факела. Во всех случаях было выявлено воспламенение смеси. При использовании тяжёлых топлив (дизельное топливо и отработанное моторное масло) наблюдалась вспышка бело-оранжевого оттенка (рисунок 2) без явного образования дыма, что свидетельствует о

полном выгорании распылённых частиц топлива.

Данная система смесеобразования и воспламенения может быть применена, даже при использовании высоковязких топлив (например, рапсовое масло). Возможность применения на поршневых двигателях внутреннего сгорания требует дополнительных исследований.



Рисунок 2 – Горение отработанного моторного масла в устройстве смесеобразования и воспламенения

#### Список литературы:

1. Пат. № 2382214 Российская Федерация, МПК F02B 3/02. Способ смесеобразования и воспламенения рабочей смеси двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / Павлюк А.С., Семкин Б.В., Стенников А.О.; заявл. 1.04.2008; опубл. 20.02.2010
2. Пат. № 2397339 Российская Федерация, МПК F02B 3/02. Способ смесеобразования и воспламенения рабочей смеси двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / Павлюк А.С., Семкин Б.В., Стенников А.О.; заявл. 11.01.2009; опубл. 20.08.2010
3. Пат. № 2403411 Российская Федерация, МПК F02B 3/02. Способ смесеобразования и воспламенения рабочей смеси двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / Павлюк А.С., Семкин Б.В., Стенников А.О.; заявл. 8.05.2009; опубл. 10.11.2010
4. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние. – 1986. – 253 с.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ Д-144 С ПЕРЕОБОРУДОВАННЫМ КЛАПАННО-ЗОЛОТНИКОВЫМ МГР (ВАРИАНТ ДОГ)

Сиротенко Д.В. – студент гр. 8ЭМ-21(магистрант), Балашов А.А. – д.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова (г. Барнаул)

Основным направлением в двигателестроении является повышение мощности двигателей, улучшение их экономических и экологических характеристик.

Повышение мощности осуществляется за счет совершенствования процессов сгорания, топливоподачи, газообмена, а так же совершенствования технологий обработки деталей двигателя, направленное на снижение механических потерь в деталях и узлах двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Проводится большое количество научных исследований и работ по изысканию наиболее эффективных путей решения проблем, связанных с повышением КПД и мощности двигателей. В последнее время наиболее востребованными являются технологии, с помощью которых возможно не только повысить мощность, но и сократить габариты, количество потребляемого топлива, а так же выбросы вредных веществ в атмосферу.

Повышение мощности ДВС ограничивается тепловой напряженностью деталей, прежде всего, поршня, выпускного клапана, головки цилиндров и турбины турбокомпрессора (ТК). Все двигателестроительные предприятия непрерывно ведут большие и дорогостоящие НИР и ОКР по снижению теплонапряженности, так как это снижение открывает возможность повышения мощности двигателя без увеличения его габаритов.

С теплонапряженностью и с высокой температурой деталей ДВС связаны и другие проблемы организации рабочего цикла двигателя. Поэтому одним из основных путей повышения мощности двигателя является форсирование его по частоте вращения коленчатого вала. Однако, с ростом частоты вращения возрастают газодинамические потери в органах газообмена (у четырехтактных ДВС с клапанным механизмом газораспределения (МГР) – через клапаны), что снижает предел форсирования двигателей по частоте вращения. При постоянных частотах вращения снижение газодинамических сопротивлений в каналах привело бы снижению расхода топлива, но работы выполненные по совершенствованию (профилированию) газоздушных трактов ДВС (и даже полирование поверхностей) увеличивают пропускную способность на незначительные проценты. Поэтому возможности решения указанных проблем в рамках классической конструкции поршневого двигателя остаются незначительными.

Однако упомянутые проблемы могут быть решены таким образом, что в четырехтактном двигателе оборудованном клапанным МГР добавить дополнительный золотниковый МГР, из-за этого выпуск отработавших газов (ОГ) будет осуществляется не только через клапаны, но и через окно в гильзе цилиндров. Это техническое решение защищено патентом автором которого является Жмудяк Л.М. Сложившееся рабочее название предложенного двигателя: «двигатель с окном в гильзе» – сокращенно «ДОГ».

Поэтому можно сказать, что одним из перспективных направлений повышения эффективных показателей ДВС является снижение насосных потерь, путём совершенствования как газодинамических характеристик впускных и выпускных систем газоздушных трактов двигателей с клапанным МГР, так и введением дополнительного золотникового МГР, за счет которого будет увеличено проходное сечение для выпуска ОГ и продувки цилиндра, конструктивно это будет в виде окна в гильзе цилиндра.

На кафедре ДВС АлтГТУ им.И.И.Ползунова модернизирован дизель Д-144 за счет дооборудования его дополнительным золотниковым МГР, то есть создан экспериментальный дизель Д-144 в варианте ДОГ.

Дополнительный золотниковый МГР представляет из себя окно в гильзе цилиндра выполненное вблизи нижней мертвой точки поршня, открытие и закрытие которого производится «золотником», т. е. поршнем. Выпуск отработавших газов в общий выпускной коллектор на такте выпуска в нетрадиционном МГР производится как через выпускной клапан, так и через окно в гильзе цилиндра, а на такте впуска осуществляется продувка цилиндра через впускной клапан и тоже окно в гильзе при условии, что давление во впускном коллекторе  $P_k$  будет выше, чем давление в выпускном коллекторе  $P_r$ .

Ряд полезных качеств ДОГ связан с тем, что на пусковом режиме и режиме малых нагрузок давление во впускном тракте и цилиндре меньше давления в выпускном трубопроводе в конце впуска, в период открытия окон. Данное соотношение давлений приводит к возврату части горячих выпускных газов из выпускного трубопровода в цилиндр, т.е. к рециркуляции выпускных газов через окно в гильзе. Повышение температуры и массы газа облегчает воспламенение топлива и запуск двигателя, а также обеспечивает более стабильную работу на холостом ходу и малых нагрузках.

Условием, обеспечивающим работоспособность системы ДОГ, является превышение давления на  $5 \div 20$  % во впускной системе над давлением в выпускной системе в период, когда одновременно открыты впускной клапан и выпускное окно в районе НМТ впуска.

Преимущества ДОГ в большей мере проявляются, на наш взгляд, у дизельгенераторных и дизельнасосных установок, т.к. они работают в узком диапазоне частоты вращения по регуляторной и немного по внешней скоростной характеристике. Поэтому при проведении

эксперимента нагрузочные характеристики в начале снимались в безнаддувном варианте при  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ .

Нагрузочная характеристика двигателя Д-144 с серийной комплектацией при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  без наддува

Кафедра ДВС АлтГТУ

Условия испытаний:  $T_0=299 \text{ К}$ ;  $t_0=26 \text{ }^\circ\text{С}$ ;  $V_0=100 \text{ кПа}$ ;  $\rho_0=1,165 \text{ кг/м}^3$ ;  $\Delta Q_B=1\text{м}^3$

Протокол испытаний двигателя Д-144 с серийной комплектацией

№	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$M_{\text{гор}}$ , $\text{кг}\cdot\text{м}$	$G_T$ , $\text{кг/ч}$	$\tau_B$ , $\text{с/1м}^3$	$Q_B$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	$T$ , $^\circ\text{С}$
1	1500	50,3	9,3	23,45	153,5	550
2	1500	44,95	8,14	23,16	155,4	450
3	1500	39,98	7,25	22,0	157,3	420
4	1500	29,98	5,68	22,6	159,2	330
5	1500	20,02	4,3	22,4	161,0	240
6	1500	10,0	2,84	22,1	162,8	180

Протокол расчетных величин к протоколу испытаний двигателя Д-144 с серийной комплектацией

№	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$M_{\text{кр}}$ , $\text{Н}\cdot\text{м}$	$N_e$ , $\text{кВт}$	$P_e$ , $\text{МПа}$	$g_e$ , $\text{г/кВт}\cdot\text{ч}$	$G_B$ , $\text{кг/ч}$	$\alpha$	$\eta_v$
1	1500	252,2	39,6	0,76	235,2	178,8	1,34	0,82
2	1500	225,2	35,4	0,68	230,1	181,0	1,55	0,83
3	1500	200,3	31,5	0,605	230,0	183,2	1,78	0,84
4	1500	150,2	23,6	0,453	240,5	185,4	2,28	0,85
5	1500	100,3	15,75	0,303	271,8	187,6	3,05	0,86
6	1500	50,1	7,87	0,151	360,4	189,7	4,67	0,87

Нагрузочная характеристика ДОГ на базе Д-144 при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  без наддува

Кафедра ДВС АлтГТУ

Условия испытаний:  $T_0=300 \text{ К}$ ;  $t_0=27 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_0=102 \text{ кПа}$ ;  $\rho_0=1,185 \text{ кг/м}^3$ ;  $\Delta Q_B=1 \text{ м}^3$

Протокол испытаний ДОГ на базе Д-144

№	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$M_{\text{тор}}$ , кг м	$G_T$ , кг/ч	$\tau_B$ , $\text{с/1м}^3$	$Q_B$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	$t$ $^\circ\text{C}$
1	1500	51,34	9,42	23,74	151,7	540
2	1500	45,85	8,24	23,46	153,5	440
3	1500	40,78	7,32	23,17	155,4	410
4	1500	30,58	5,75	22,9	157,3	320
5	1500	20,42	4,31	22,62	159,2	230
6	1500	10,2	2,81	22,36	161,0	170

Протокол расчетных величин к протоколу испытаний ДОГ на базе Д-144

№	$n$ , $\text{мин}^{-1}$	$M_{\text{кр}}$ , $\text{Н*м}$	$N_e$ , кВт	$P_e$ , МПа	$g_e$ , $\text{г/кВт*ч}$	$G_B$ , кг/ч	$\alpha$	$\eta_v$
1	1500	257,2	40,4	0,776	233,3	176,7	1,31	0,81
2	1500	229,7	36,1	0,694	228,2	178,8	1,52	0,82
3	1500	204,3	32,1	0,617	228,2	181,0	1,73	0,83
4	1500	153,2	24,06	0,463	239,1	183,2	2,23	0,84
5	1500	102,3	16,07	0,309	268,3	185,4	3,0	0,85
6	1500	51,1	8,03	0,154	350,4	187,6	4,67	0,86

С целью проведения сравнительного анализа и выявления преимуществ двигателей, оборудованных окнами в гильзах цилиндров (вариант ДОГ) для дополнительного выпуска ОГ, по сравнению с серийными образцами были сняты следующие характеристики в безнаддувном исполнении 4Ч10,5/12:

- нагрузочная характеристика дизеля Д-144 на номинальном режиме при частоте вращения  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  в серийном исполнении;
- нагрузочная характеристика дизеля Д-144 на номинальном режиме при частоте вращения  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  в комплектации ДОГ.

Проводя сравнение двигателя Д-144 в серийном исполнении и комплектации ДОГ в безнаддувном варианте по мощностным экономическим и расходным показателям на номинальном режиме, можно отметить, что каких-то серьезных преимуществ двигателя с окнами в гильзах цилиндров (ДОГ) перед двигателями без окон не имеют. Увеличение мощности, крутящего момента и среднего эффективного давления составляет у ДОГ по сравнению с серийным двигателем (без окон в гильзах) не более  $2 \div 3\%$ .

Таким образом, на номинальном режиме  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  существенных преимуществ у безнаддувных двигателей сДОГ и без окон на относительно невысоких частотах вращения экспериментально обнаружено не было.

Другая картина должна быть при наддуве двигателя Д-144 от постороннего источника сжатого воздуха. В этом случае должны раскрыться преимущества двойного выпуска ОГ дизеля оборудованного комбинированным МГР перед двигателем с серийной комплектацией и клапанной системой МГР.

## ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИПОВАННОЙ ШИНЫ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Орлов Р.И. – студент, Беседин Л.Н. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Обеспечение высоких показателей тормозной эффективности автомобиля в зимних условиях, когда нередко приходится двигаться по обледенелым дорогам является сложной задачей, так как шины обладают низким коэффициентом сцепления с обледенелой опорной поверхностью, значением которого во многом определяется величина тормозного пути автомобиля. Стоит заметить, что на тормозные свойства автомобиля также влияет характер работы тормозной системы, регулятора тормозных сил, АБС. Однако, эффективность работы выше указанных систем не зависит от дорожных и климатических условий. В то же время сцепные свойства шин могут значительно изменяться с изменением дорожных и климатических условий [2,6]. При этом в открытых научных источниках приводятся экспериментальные данные о том, как изменяются сцепные свойства шин при движении по обледенелой дороге при изменении её температуры, но отсутствует математическая модель, позволяющая оценить факторы, влияющие на изменение сцепных свойств шин при изменении температуры опорной поверхности [4].

Поэтому целью данной работы является получение модели, описывающей характер изменения сцепных свойств шины на обледенелой дороге в соответствии с изменением температуры.

Следует отметить, что для повышения сцепных свойств шин их оснащают шипами. Причем, шипы могут значительно повысить сцепные свойства шин [2,6]. По этой причине в данной работе рассматривается шина, оснащенная шипами.

Работа шипа заключается в том, что при контакте с ледяной опорной поверхностью шип, ударяясь об неё, пробивает ледяную корку и заглубляется в неё, а находясь в ней на определенной глубине при движении колеса «процарапывает» поверхность, создавая дополнительное сцепление шины с дорогой. При этом шип не всегда внедряется в корку льда на всю величину выступа из протектора. Дело в том, что при контакте шипа с опорной поверхностью происходит некоторая деформация участка резины в месте крепления шипа и шип частично углубляется в шину. Поэтому величина углубления шипа в шину будет зависеть от свойств резины и прочностных свойств опорной поверхности, в данном случае льда.

Таким образом, основными исходными данными для построения модели являются такие параметры, как величина выступления шипа из протектора, которая принимается, согласно нормативам, равной 1,5 мм, жесткость шинной резины, которая соответствует жесткости резины твердостью 60 единиц по Шору, а также прочностные свойства льда.

Причем в данной работе принимается то, что сцепные свойства шины изменяются согласно характеру изменения работы шипа при разной температуре опорной поверхности.

Для расчетов изменения прочностных свойств льда при изменении температуры используются методики, учитывающие усредненные значения [5]. Согласно данным

методикам пределы прочности льда на сжатие и смятие будут изменяться в интервале температур от 0 до -20 °С так как показано на рисунке 1.

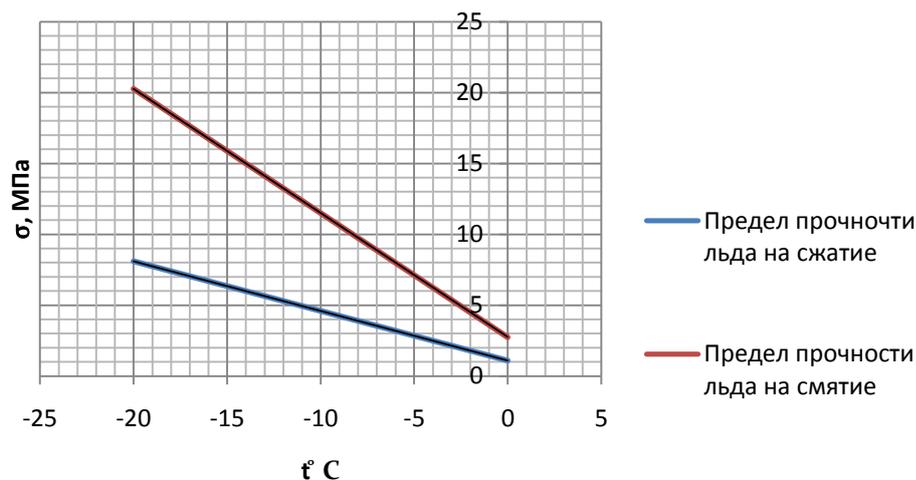


Рисунок 1 – График зависимости прочностных свойств льда от температуры

В свою очередь величина углубления шипа в лед в нашем случае определяется по формуле:

$$h_y = h_{ш} - h_p \quad (1)$$

где,  $h_y$  – величина углубления шипа в лед;

$h_{ш}$  – максимальная величина выступания шипа из протектора шины;

$h_p$  – величина углубления шипа в резину при взаимодействии шины с опорной поверхностью.

Для расчета величины углубления шипа в шину была рассчитана величина деформации условного участка резины в месте крепления шипа с учетом жесткости резины, прочностных свойств опорной поверхности и нормальной реакции в пятне контакта. Причем при разной температуре льда и соответственно разных его прочностных характеристиках величина деформации участка шины в месте крепления шипа и соответственно величина углубления шипа в лед будут различными.

По результатам необходимых вычислений, с учетом принятых в данной работе допущений, получен график зависимости углубления шипа в лед от температуры для интервала температур от 0 до -20 °С, который приведен на рисунке 2.

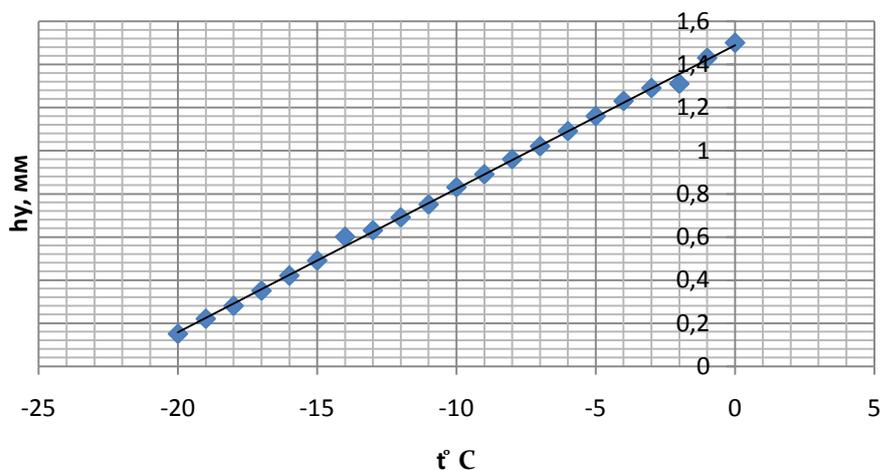


Рисунок 2 – График зависимости углубления шипа в лед от температуры

Коэффициент сцепления в общем виде определяется по формуле [6]:

$$\varphi = \frac{\sum X}{Z} \quad (2)$$

где,  $\sum X$  – сумма касательных реакций в пятне контакта;

$Z$  – нормальная реакция в пятне контакта.

В то же время с учетом выше изложенных положений, касающихся работы шипа в пятне контакта, сумму касательных реакций можно представить следующим образом:

$$\sum X = \sum_{i=1}^n P_{ti} = n * \sigma_{cm} * d_{ш} * h \quad (3)$$

где,  $\sum_{i=1}^n P_{ti}$  – составляющая касательных реакций, определяемая работой шипов в пятне контакта;

$\mu$  – коэффициент трения резины о лед (принимается равным 0,2)

$n$  – количество шипов в контакте (принимается  $n=12$ );

$d_{ш}$  – диаметр шипа (принимается равным 0,004 м)

$h$  – величина углубления шипа в лед.

Таким образом, формула для расчета коэффициента сцепления принимает вид:

$$\varphi = \frac{n * \sigma_{cm} * d_{ш} * h + Z * \mu}{Z} \quad (4)$$

Причем нормальную реакцию будем считать равной нагрузке на колесо, которая исходя из того, что рассматривается двухосный автомобиль полной массой 1800 кг, будет составлять 4415Н.

На рисунке 3 приведен график зависимости  $\varphi(t)$  на всем рассматриваемом промежутке температур.

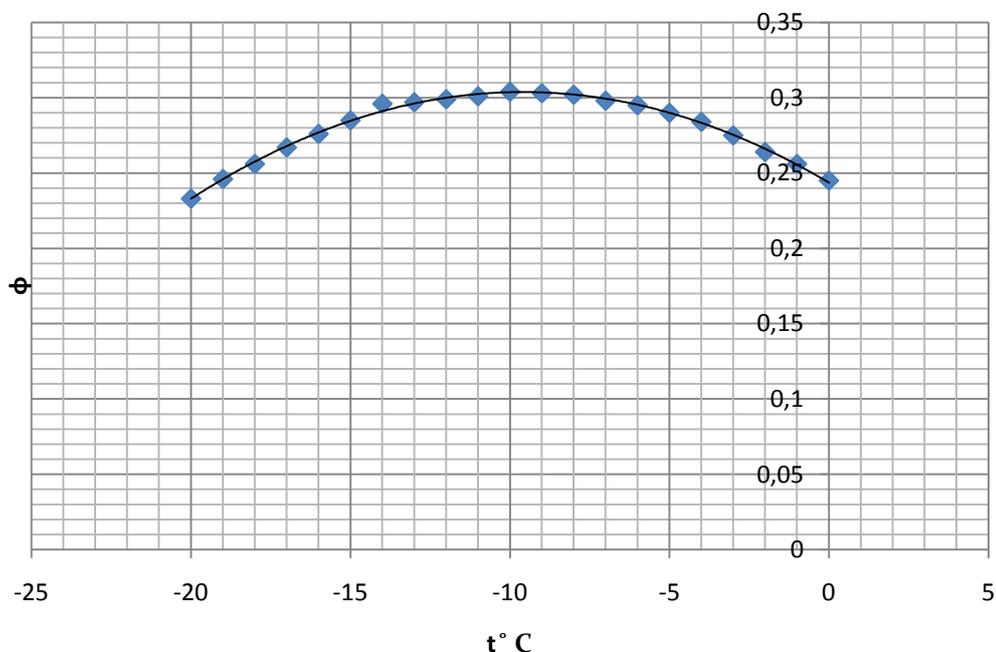


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента сцепления от температуры

На основании полученных результатов можно сказать о том, что коэффициент сцепления колеса, оснащенного шипованной шиной, при движении по обледенелой поверхности изменяется с изменением температуры опорной поверхности. При этом на

графике видно, что сначала коэффициент сцепления увеличивается, затем, достигнув максимума равного 0,304 в точке соответствующей температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ , начинает уменьшаться. Данный процесс можно объяснить тем, что рост прочностных свойств льда с понижением температуры обеспечивает увеличение касательных реакций при взаимодействии шипов со льдом, однако, дальнейшее понижение температуры способствует упрочнению льда настолько, что величина углубления шипов в лед значительно уменьшается.

В то же время можно предположить, что разные шины, отличающиеся рядом конструктивных параметров, могут иметь максимальное значение коэффициента сцепления в точках, соответствующих разной температуре, а не только при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ . Также у разных по конструкции шин может различаться величина коэффициента сцепления. Кроме того, нужно учитывать, что в данной работе для расчетов были приняты усредненные параметры льда, однако, на практике величины тех или иных параметров льда могут варьироваться, соответственно это также может влиять на то при какой температуре коэффициент сцепления будет максимальным, а также на его величину.

#### Список литературы:

1. Бидерман, В.Л. Автомобильные шины: Конструкция, расчет, испытание, эксплуатация [Текст] / В.Л. Бидерман, Р.Л. Гуслицер, С.П. Захаров, Б.В. Ненахов, И.И. Селезнев, С.М. Цукерберг. – М.: Госхимиздат, 1963 – 384с.
2. Вахламов, В. К. Автомобили: Эксплуатационные свойства [Текст] / учеб.для вузов / В. К. Вахламов. – М.: Академия, 2005. – 240с.
3. ГОСТ Р 52747 – 2007. Автомобильные транспортные средства. Шипы противоскольжения. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 2009 – 01 – 01. – М.: Стандартинформ, 2007. – II, 10с.
4. Исследование влияния погодных условий на величину коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием [Текст] / Н. Ю. Ботвинава, [ и др. ]// Фундаментальные исследования. Сер. Технические науки. – 2013. - №11. – С.407 – 411. – Библиогр.: с. 411.
5. Коржавин, К.Н. Воздействие льда на инженерные сооружения [Текст] / К.Н. Коржавин. – Новосибирск.: Изд-во Сибирского отделения АН СССР, 1962 – 203 с.
6. Кнороз, В. И. Работа автомобильной шины [Текст] / В. И. Кнороз, Е. Б. Кленников, И. П. Петров, А. С. Шелухин, Ю. М. Юрьев. – М.: Транспорт, 1976 – 238 с.

#### ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЕСНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНОЙ

Куприянов С.Е. - студент, Шестаков В.Ю.-студент, Поддубный В.И.- д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время широкое распространение в сельском хозяйстве России получают системы точного земледелия, использующие спутниковые навигационные системы (GPS/ГЛОНАСС). Их применение позволяет обеспечить рабочее движение сельскохозяйственных машин по задаваемой траектории без участия водителя с высокой точностью, что позволяет уменьшить пройденный путь, повысить качество выполняемых работ, снизить расход топлива и психомоторные затраты механизатора на управление. На рынке широко представлена продукция компаний JohnDeer, Klaas, Trimble и других зарубежных компаний. Существенным недостатком импортных систем точного земледелия является их высокая стоимость для отечественных сельхозпроизводителей и то, что в большинстве случаев они не могут быть использованы на российской сельскохозяйственной технике вследствие несогласованности параметров (в частности тугое рулевое управление отечественных колесных тракторов) [1]. Из отечественных систем стоит отметить комплекс «Аэронавигатор», использующий спутниковую навигацию для отображения текущего

положения трактора. К сожалению, следует отметить отсутствие на российском рынке систем подруливания и автопилотирования отечественного производства. В Алтайском государственном техническом университете проводятся исследования, ставящие целью создание системы управления движением с использованием спутниковых радионавигационных систем, сопоставимых по своим характеристикам с зарубежными аналогами и более доступными по цене.

Одним из этапов создания системы управления движением является разработка конструкции электромеханического привода подруливающего устройства и проведение лабораторных испытаний для проверки его работоспособности. Основными элементами устройства являются бесколлекторный или шаговый двигатель с электронным блоком управления. На валу двигателя закрепляется ролик, подпружиненный к ободу рулевого колеса. Передаточное отношение ролик - рулевое колесо обеспечивает увеличение крутящего момента на руле в 5- 6 раз (в зависимости от диаметра руля трактора). Электродвигатель крепится на кронштейне, который в свою очередь фиксируется на рулевой колонке хомутом. Общий вид устройства при лабораторных испытаниях представлен на рисунке 1.

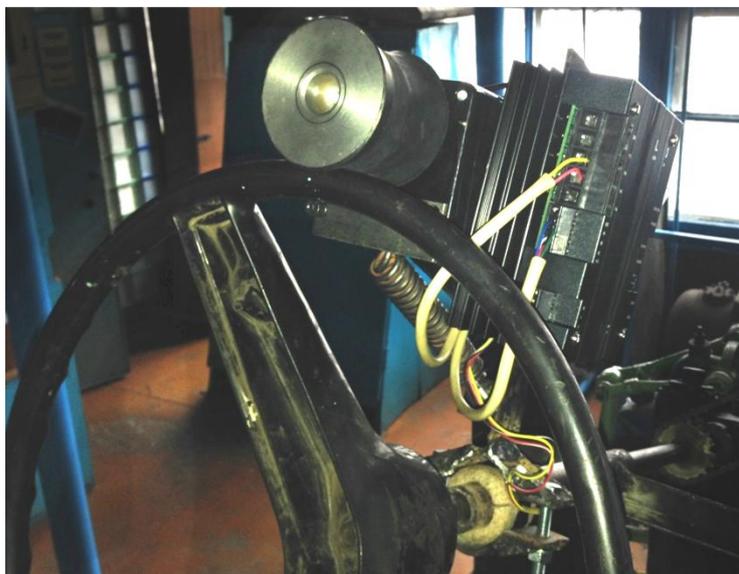


Рисунок 1 – Электромеханический привод подруливающего устройства

Подруливающее устройство должно обеспечивать поворот рулевого колеса трактора на угол, обеспечивающий максимальное приближение действительной траектории к задаваемой. Управление обеспечивается подачей низковольтного аналогового сигнала на вход электронного блока управления двигателя. Для разработки алгоритма управления поворотом управляемых колес на необходимый угол с использованием ПИД - регулирования [2] необходимо определить передаточную функцию механической системы, входом которой является управляющее аналоговое напряжение, выходом угол поворота управляемых колес. В лабораторных условиях на стенде «рулевое управление - передняя подвеска легкового автомобиля» был проведен эксперимент. Определялся закон изменения угла поворота управляемых колес при подаче на вход электронного блока управления электродвигателя управляющего напряжения 1 вольт. Эксперимент позволил выявить некоторые незначительные недостатки в конструкции крепления подруливающего устройства к рулевой колонке и устранить их. С использованием пакета расширения МАТЛАБ SYSTEM IDENTIFICATION TOOLBOX был определен вид передаточной функции механической системы, представляющей собой интегрирующее звено с коэффициентом передачи 0.27227:

$$W(S) = \frac{0.27227}{S}$$

Для определения коэффициентов ПИД – регулирования управляющим напряжением электронного блока управления электродвигателем в МАТЛАБ –SIMULINK [3] была создана модель, топология которой изображена на рисунке 2.

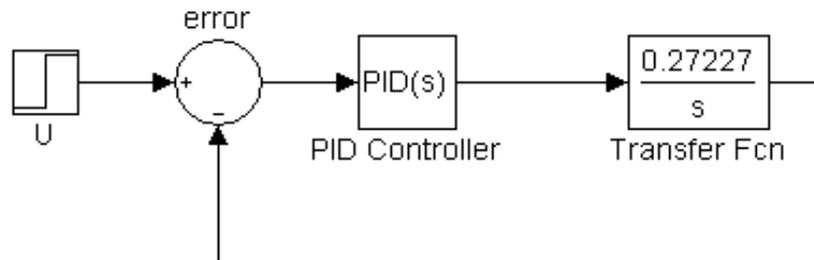


Рисунок 2 – Топология модели для определения коэффициентов ПИД - регулирования

По результатам моделирования были определены коэффициенты ПИД – регулирования, которые будут использованы в управляющей программе для подруливающего устройства.

#### Список литературы:

1. Березовский, Е. Внедрение технологий точного земледелия: опыт Тимирязевской академии [Текст] / Е. Березовский, А. Захаренко, В. Полин //Аграрное обозрение . – 2009. – № 4. – С. 12- 17.
2. Смольников А. П. Теория автоматического управления. Лабораторный практикум [Текст] / А. П. Смольников. Красноярск: ИПЦ КГТУ. - 2007. - 111 с.
3. Дьяконов В.П. Матлаб 6.5+Simulink 4/5[Текст]/ В.П. Дьяконов. М.: СОЛОН-Пресс.- 2002.-768 с.

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ТРАКТОРА

Ходырев И.В. - студент группы 8НТК-31, Барсуков Ю.Н. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

На величину и характер динамических процессов в трансмиссии и ходовой части гусеничного трактора оказывает конструкция узлов гусеничной цепи и, в частности, вариант исполнения шарнира цепи.

Гусеничные цепи с резинометаллическими шарнирами (РМШ), обладающими упругой и угловой податливостями, внутренним трением резиновых элементов, позволяют снизить динамические нагрузки в тракторе.

Радиальная и угловая податливости РМШ при проектировании шарниров могут варьироваться в широком диапазоне на усмотрение конструктора. Теоретические и экспериментальные исследования РМШ позволяют оптимизировать эти параметры с целью снижения динамических нагрузок и повышения долговечности гусеничной цепи в целом.

Однако достоверный результат эффективности доводки конструкции РМШ может быть подтвержден только при полевых испытаниях трактора.

Полевые испытания гусеничного трактора с РМШ предполагают измерения и запись на носитель ряда параметров гусеничного движителя с помощью тензометрических узлов (тензометрические пальцы шарниров, угломеры относительного поворота смежных звеньев

шарнира, тензометрические валы ведущих колес и др.), совершающих перемещение по контуру гусеничного обвода или вращающихся вместе с ведущими колесами.

Для электрической связи измерительных схем датчиков тензометрических узлов с измерительной и регистрирующей аппаратурой при испытаниях применялись механические контактные токосъемные устройства с проводной связью. От их надежности в значительной мере зависит и достоверность результатов эксперимента.

В данной работе предлагается заменить эти токосъемные устройства современными беспроводными средствами связи на базе вычислительной платформы ArduinoBluetooth-модулем HC-05. Он обеспечивает цифровую передачу данных на расстоянии между передатчиком (тензоузел) и приемником (регистрирующая аппаратура) в радиусе до 100 метров при высокой устойчивости к широкополосным помехам. Учитывая, что регистрирующая аппаратура, как правило, размещается в кабине испытываемого трактора, надежность канала связи гарантирована. Структурная схема измерительного комплекса приведена на рисунке 1.

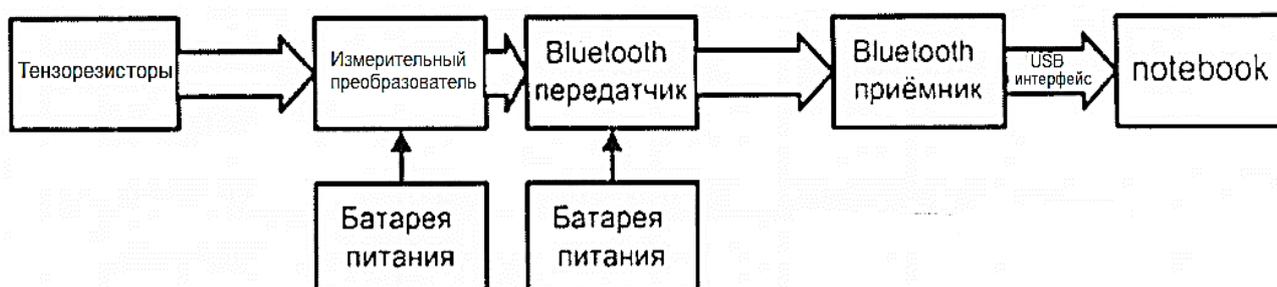


Рисунок 1 - Структурная схема измерительного комплекса

Arduino — аппаратная вычислительная платформа, основными компонентами которой является простая плата ввода-вывода на основе микроконтроллеров семейства ATMEGA, и среда разработки на языке Processing и Wiring.

Плата Arduino состоит из микроконтроллера Atmel AVR (ATmega328P и ATmega168 в новых версиях и ATmega8 в старых), а также элементов обвязки для программирования и интеграции с другими схемами. На многих платах присутствует линейный стабилизатор напряжения +5В или +3,3В. Тактирование осуществляется на частоте 16 или 8 МГц кварцевым резонатором (в некоторых версиях керамическим резонатором[4]). В микроконтроллер предварительно прошивается загрузчик BootLoader, поэтому внешний программатор не нужен.

На концептуальном уровне все платы программируются через RS-232 (последовательное соединение), но реализация этого способа отличается от версии к версии. Плата SerialArduino содержит простую инвертирующую схему для конвертирования уровней сигналов RS-232 в уровни TTL, и наоборот. Текущие рассылаемые платы, например, Diecimila, программируются через USB, что осуществляется благодаря микросхеме конвертера USB-to-Serial FTDI FT232R. В версии платформы ArduinoUno в качестве конвертера используется микроконтроллер Atmega8 в SMD-корпусе. Данное решение позволяет программировать конвертер так, чтобы платформа сразу определялась как мышь, джойстик или иное устройство по усмотрению разработчика со всеми необходимыми дополнительными сигналами управления. В некоторых вариантах, таких как ArduinoMini или неофициальной Boarduino, для программирования требуется подключение отдельной платы USB-to-Serial или кабеля.

Платы Arduino позволяют использовать большую часть I/O выводов микроконтроллера во внешних схемах. Например, в плате Diecimila доступно 14 цифровых входов/выходов, 6 из которых могут выдавать ШИМ сигнал, и 6 аналоговых входов. Эти сигналы доступны на плате через контактные площадки или штыревые разъемы. Также доступны несколько видов

внешних плат расширения, называемых «англ. shields» (дословно: «щиты»), которые присоединяются к плате Arduino через штыревые разъёмы.

В измерительном канале плата Arduino работает совместно с Bluetooth-модулем. Его структурная схема приведена на рисунке 2.

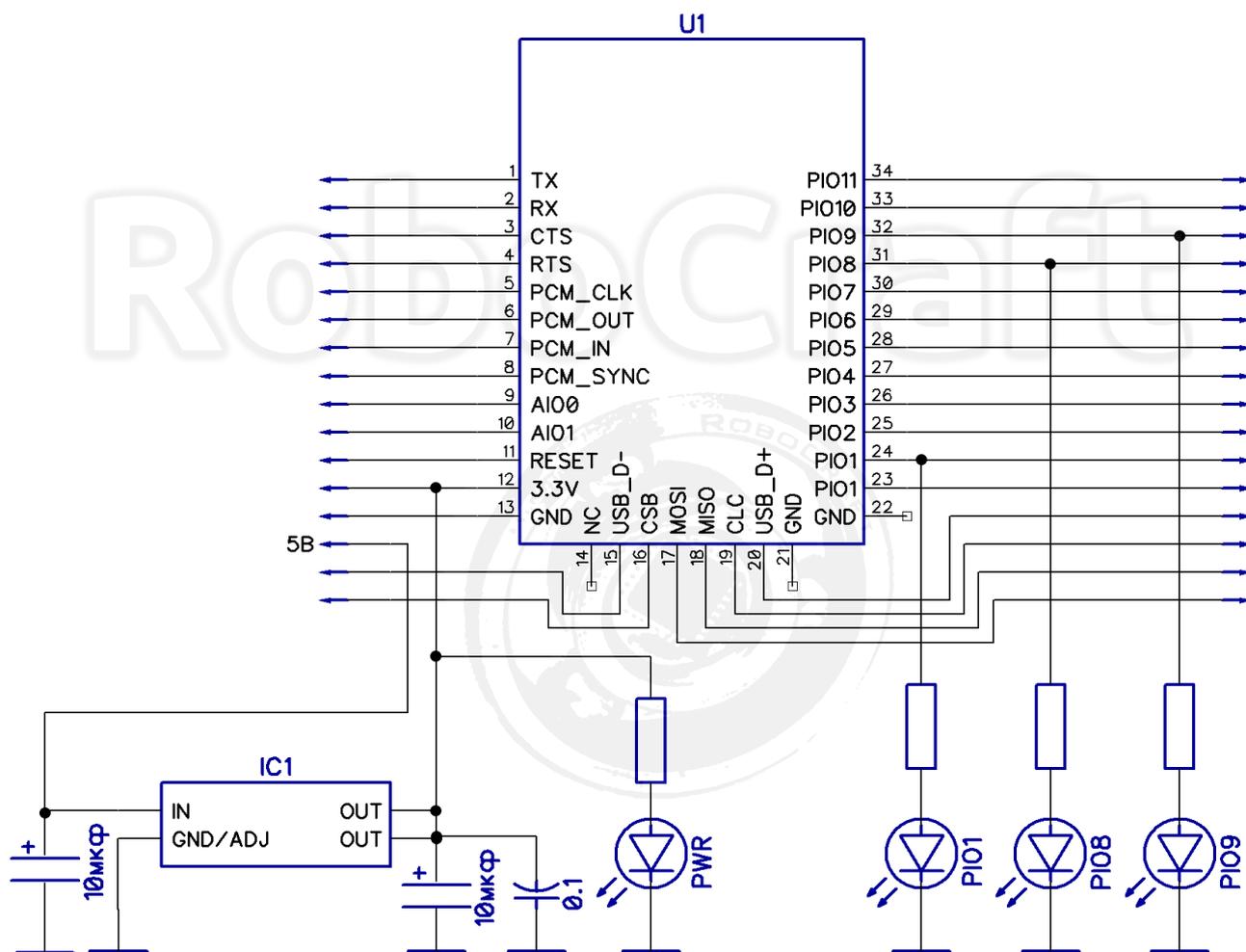


Рисунок 2 – Структурная схема платы Bluetooth-модуль HC-05

### Характеристики Bluetooth модуля HC-05:

- Протокол связи Bluetooth Specification v2.0+EDR
- Частота GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- Мощность отправки  $\leq 4\text{dBm}$ , Class 2
- Мощность приема  $\leq -84\text{dBm}$  at 0.1% BER
- Скорость асинхронная 2.1Mbps (Max) / 160 kbps, синхронная 1Mbps/1Mbps
- Безопасность Authentication and encryption
- Профиль Bluetooth serial port
- Питание +5VDC 50mA
- Рабочие температуры -20 ~ +75 C
- Размеры 26.9мм x 13 мм x 2,2 мм

### Подключение Bluetooth модуля HC-05 к Arduino

VCC — +5v (+5 вольт)

GND — GND (земля)  
RX — TX (arduino pin)  
TX — RX (arduino pin)  
LED — (не используем)  
KEY — (не используем)

## ЗЕРНОВАЯ СЕЯЛКА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ

Суворов С.А. – аспирант, Аврамчик Е.М. - студент, Странцов К.Н. – студент,  
Сороченко С.Ф. – к.т.н., профессор, Дрюк В.А. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Актуальность.** Опустынивание земель – одна из главных экологических проблем мирового масштаба. В настоящее время в мире насчитывается около 2 млрд. га деградированных земель. Опустынивание является одной из основных проблем в Средней Азии для таких стран, как Казахстан, Киргизия, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан, Монголия, Китай и т.д. Площади земель, подверженных опустыниванию, в России составляют около 1,2 млн. га [1].

В Монголии процессу опустынивания подвержены в той или иной степени свыше 647 тысяч га земель или 41,3% территории страны. За последние 10 лет площадь охваченных засухой территорий Монголии увеличилась на 3,4%, сильно подверженных опустыниванию – в 5,4 раза, а крайне подверженные опустыниванию – в 1,8 раза [2].

**Цель работы.** Повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных культур на обеднённых почвах, снижение деградации песчаных почв в зоне пустынь и полупустынь за счет повышения плодородия и влагоаккумулирующих свойств почвы.

**Новизна.** Для достижения поставленных целей необходима реализация предлагаемой технологии, которая включает в себя одновременное внесение в почву питательной влагоаккумулирующей композиции (ПВК) и посев семян засухоустойчивых растений. ПВК сможет обеспечить семенам необходимый запас влаги и питательных элементов на начальных фазах развития (всходы, кущение), так же в почве вместе с корнями растений образуется связанный слой, который позволит задерживать влагу и закрепить легкую песчаную почву.

Предварительно в июне 2013 г. была испытана данная технология в СПК «Ортолык» Кош-Агачского района Республике Алтай и республике Монголия (на опытном поле г. Баян-Ульгий и на опытном участке г. Ховд)[3]. Посевной материал, применяемый при испытании технологии, — элитные семена овса сорта Нарымский 943.

Для внесения ПВК в почву использовалась зерновая сеялка СКП-2,1 «Омичка» с установленным на нее дополнительным оборудованием, которая состоит из емкости для ПВК с гидромешалкой; насоса; распределительной системой подачи ПВК, сошников оригинальной конструкции для работы на песчано-каменистых почвах (рис. 1).



Рисунок 1 - Зерновая сеялка СКП-2,1 «Омичка» с установленным оборудованием для внесения ПВК в почву

**Результаты.** Отбор проб почвы для определения влажности и оценки состояния посевов овса проводили в СПК «Ортолык» Кош-Агачского района Республике Алтай 2 июля (9-й день после посева), 10 августа (48-й день) и 27 августа (65-й день). Оценка посевов и влажности почвы представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Оценка посевов и влажности почвы на 02.07.2013 (9-й день)

Показатель		Наименование опыта								
		0	1	9А	9Б	2	3	4	5	7
Всходы шт/м	1	59	69	70	71	49	32	49	72	33
	2	62	56	54	53	68	32	39	38	12
	3	56	66	46	62	50	43	42	57	17
	Сред.	59,0	63,7	56,7	62,0	55,7	35,7	43,3	55,7	20,7
Влажность почвы на глубина от 3 до 8 см, %	1	3,2	5,6	4,4	5,0	9,1	13,8	11,9	8,8	10,4
	2	3,6	6,0	4,6	4,7	9,2	12,8	11,4	9,0	11,8
	3	3,2	5,6	4,4	4,5	8,0	10,8	12,1	9,3	11,5
	Сред.	3,3	5,7	4,5	4,7	8,8	12,5	11,8	9,0	11,2
Влажность почвы на глубина от 0 до 8 см, %	1	2,4	4,6	4,7	-	4,2	7,9	6,3	5,2	5,7
	2	2,2	4,3	5,3	-	4,3	6,4	7,5	6,0	6,0
	3	2,6	3,9	5,2	-	4,5	6,1	6,3	5,2	6,8
	Сред.	2,5	4,3	5,0	-	4,3	6,7	6,7	5,5	6,2

Таблица 2 – Оценка посевов и влажности почвы на 10.08.2013 (48-й день)

Показатель	Наименование опыта										Орошаемый участок СПК «Ортолык»
	0	1	9А	9Б	2	3	4	5	7		
Количество растений, шт/м	1	64	65	45	33	61	76	67	72	46	-
	2	75	62	61	78	81	51	51	59	32	-
	3	78	76	44	69	81	76	63	63	31	-
	Сред.	72,3	67,7	50,0	60,0	74,3	67,7	60,3	64,7	36,3	-
Влажность почвы на глубину от 0 до 8 см, %	1	2,1	1,7	2,0	2,2	3,0	3,1	3,1	2,6	3,0	15,0
	2	1,6	2,1	1,9	1,8	2,7	2,8	3,5	2,7	2,8	14,5
	3	2,3	2,4	2,2	1,8	2,7	2,7	3,7	2,5	3,1	14,9
	Сред.	2,0	2,1	2,0	1,9	2,8	2,9	3,4	2,6	3,0	14,8
Высота растений, см	1	19,1	14,0	19,0	13,9	24,7	24,0	22,5	17,7	21,2	24,5
	2	15,6	16,4	18,8	15,7	27,1	24,8	21,2	26,1	22,3	-
	3	13,7	16,1	19,9	14,5	21,1	27,2	25,0	16,9	25,3	-
	Сред.	16,1	15,5	19,2	14,3	24,0	25,3	22,9	20,4	22,9	24,5

Внесение ПВК в почву позволило увеличить влажность корнеобитаемого слоя. В слое от 3 до 8 см влажность на 9-й день на контроле составила 3,3-4,5%, а в опыте № 3 — 12,5%, что выше примерно в 3 раза. Влажность почвы на глубине слоя от 0 до 8 см при её определении 2 июля, 10 и 27 августа в опыте № 4 составила, соответственно, 6,7; 3,4 и 2,3%, т.е. выше, чем в контрольных опытах [3].

Высоту растений определяли 10 и 27 августа (табл. 2, 3). Средняя высота растений в контрольных опытах (в т.ч. с однократным поливом и внесением жидкого гуминового удобрения) 2 августа была от 14,3 до 19,2 см, а в опытах с внесением ПВК — от 20,4 до 25,3 см, что сравнимо с высотой овса, выращиваемого на орошаемом участке — 24,5 см.

Таблица 3 – Оценка посевов и влажности почвы на 27.08.2013 (65-й день)

Показатель	Наименование опыта										Орошаемый участок СПК «Ортолык»
	0	1	9А	9Б	2	3	4	5	7		
Влажность почвы на глубину от 0 до 8 см, %	1	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	1,9	2,3	2,0	2,1	16,2
	2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9	1,6	2,4	2,4	2,3	15,9
	Сред.	1,30	1,4	1,6	1,7	2,0	1,7	2,3	2,3	2,2	16,0
Высота растений, см	1	22,2	17,6	19,3	15,5	24,6	28,3	22,4	18,4	20,8	43,6
	2	14,1	18,0	19,2	16,3	27,1	25,2	29,0	22,3	21,2	-
	3	13,9	17,5	21,0	15,3	25,0	27,5	27,2	28,2	25,6	-
	Сред.	16,7	17,7	19,8	15,7	25,6	27,0	25,6	23,0	22,5	43,6

Средняя масса одного растения <sup>1</sup> , г	0,71	0,64	0,57	0,63	1,18	0,99	1,59	1,42	1,01	1,26
--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Примечание. 1 – масса определялась по 10 растениям.

Как было сказано ранее, 27 августа были отобраны образцы растений. На рисунке 2 показаны образцы растений овса с опытных делянок (в каждом снопе по 10 растений).

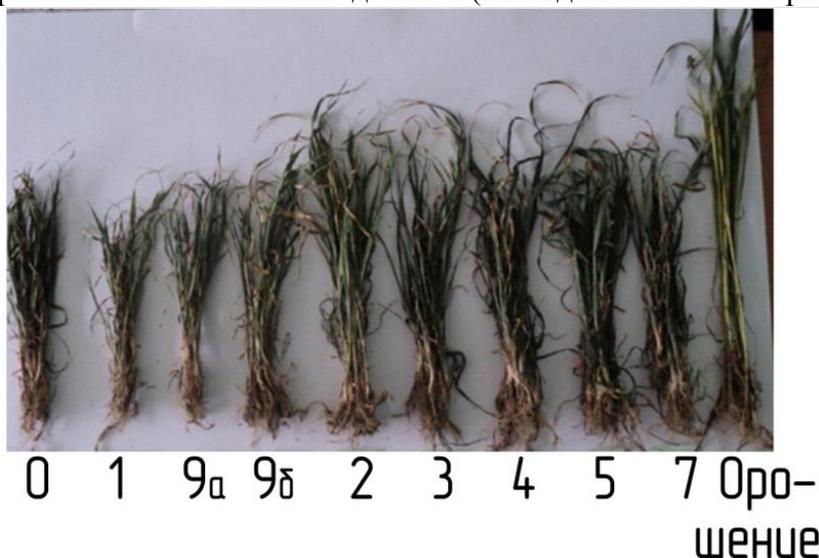


Рисунок 2 – Образцы растений овса с опытных участков

Средняя масса растений на контроле составила от 0,63 до 0,71 г, с участков по предлагаемой технологии — от 0,99 до 1,59 г, а наорошаемом участке — 1,26 г. Средняя массарастений в опыте № 4 была в 2,0 и в 1,3 раза выше по сравнению с контрольным опытом № 1 и опытом на орошаемом участке соответственно. Обеспечение растений водой и питательными элементами при всходах и куцении позволило достичь большей кустистости и массы растений, более развитой корневой системы [3].

#### Список литературы:

1. Ковалевич А. Опустынивание и деградация земель в странах СНГ // Лесное и охотничье хозяйство. — 2010. — № 2. — С. 17-22.
2. Зарубежные соседи: Монголии грозит опустынивание. — (<http://zabinfo.ru/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=39719>).
3. Ситников А.А. Полевые испытания технологии рекультивации песчаных почв/ А.А. Ситников, С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк, и др.// Вестник АГАУ. – 2014. - №2(112). - С. 46-52.

#### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АГРЕГАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ РЫБОВОДСТВА

Гуркина К.А. – студент, Молчанов П.Д. – студент, Ставров П.В. – студент,  
Кондрух В.В. – студент, Камышов Ю.Н. – к.т.н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Актуальность темы.** В России рыбководство – одна из отраслей сельского хозяйства, имеющая большое народно-хозяйственное значение [1].

В достижении наиболее выгодных экономических показателей в рыбководческой отрасли важную роль играет правильное приготовление кормовой смеси. Кормовой рацион должен содержать определенный набор питательных веществ, полностью удовлетворяющий

потребность организма рыбы. Для приготовления рыбных кормов используются различные технологии, зачастую, включающие в себя пять и более операций для их получения. Современное оборудование для получения кормовых смесей для рыб по своим эксплуатационным качествам не полностью отвечает возрастающим требованиям промышленности[2].

**Цель работы.** Повышение эффективности приготовления кормов для рыб за счет совмещения нескольких технологических операций в одном кормоприготовительном устройстве.

**Решение.** Для решения проблемы сокращения количества операций и устройств для их проведения разработан механоактиватор органического сырья[3], способный одновременно измельчать, смешивать, нагревать смесь за более короткие промежутки времени при низких энергозатратах, с соблюдением всех технологических операций, рисунок 1:



Рисунок 1 - Кормоприготовительный агрегат

Принцип работы механоактиватора органического сырья заключается в следующем: в бак заливается вода, затем засыпается зерновой материал в соответствии с рецептурой. Смесь зернового материала и воды циркулирует в баке и во время прохождения через рабочий орган измельчается, перемешивается и нагревается.

Проведены лабораторные исследования механоактиватора органического сырья, результаты которых представлены на рисунке 2:

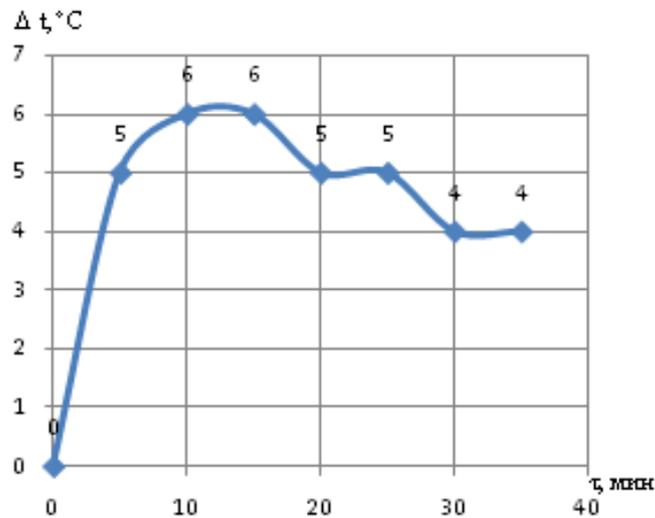


Рисунок 2 - График изменения температуры смеси в баке от времени протекания процесса

График изменения температуры воды от времени протекания процесса показывает, что наиболее интенсивный нагрев смеси проходит на первых минутах работы механоактиватора, затем постепенно снижается и остается неизменным.

В ходе проведения испытаний были взяты образцы полученной смеси с целью определения гранулометрического состава получаемой смеси. Определение размеров частиц кормовой смеси проводилось с применением автоматизированного экспериментального комплекса обработки изображений, состоящего из металлографического микроскопа ММР-4, цифровой камеры BaumerOptronic Arc-1000с, персонального компьютера, платы ввода изображений в ЭВМ, рисунок 3:



Рисунок 3—Автоматизированный экспериментальный комплекс обработки изображений

Средний размер частиц в конце цикла приготовления составил 683 мкм. О чем свидетельствует график изменения размеров частиц от времени протекания процесса измельчения, рисунок 4:

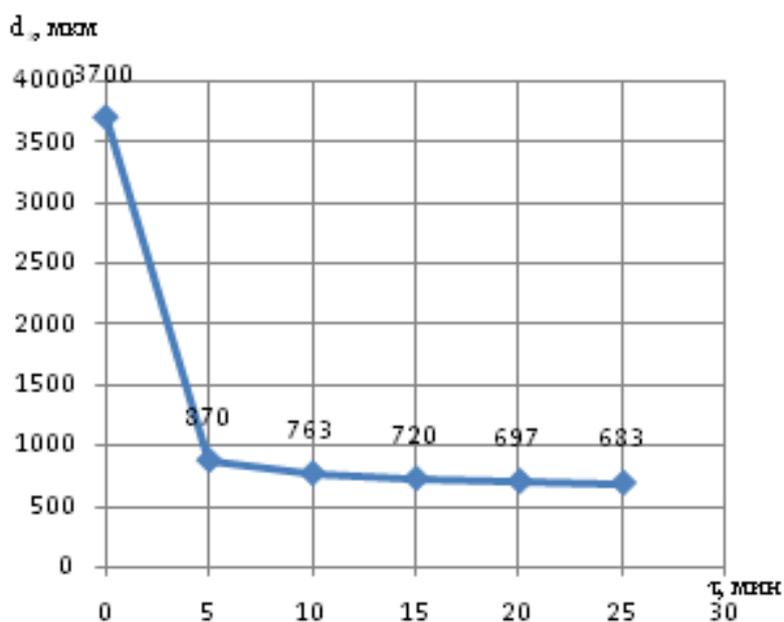


Рисунок 4—График изменения размеров частиц от времени протекания процесса приготовления корма.

Разработанный механоактиватор органического сырья позволяет одновременно измельчать, смешивать, нагревать смесь за более короткие промежутки времени при низких энергозатратах, с соблюдением всех технологических операций. Небольшие габариты и высокая производительность делают возможным его применения в рыбоводческих хозяйствах.

#### Список литературы:

1. Герасимов, Ю.Л. Основы рыбного хозяйства [Текст]: учеб. пособие / Ю.Л. Герасимов - Самара: Изд-во Самарский университет, 2003. - 108 с.
2. Арабаджи, А.А. Рыбоводство. Практическое руководство по определению рыб Орловской области [Текст]: учеб. пособие / А.А. Арабаджи, В.И. Крюков. - Орел: Автограф, 2009. - 68 с.
3. Пат. на промышленный образец № 8765 Российская Федерация, МКПО 15-03. Механоактиватор органического сырья / А.А. Ситников, Е.Н. Нефедов, Ю.Н. Камышов, Н.А. Макарова, С.В. Почтер.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».; заяв. 30.07.2012; опубл. 16.01.2014.

### ИМПУЛЬСНЫЙ ВАРИАТОР ВЫСЕВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

Сергейчук С.С. – магистрант, Сороченко С.Ф. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Актуальность.** Основой сельскохозяйственного производства в области растениеводства является выращивание зерновых культур. По объёмам производства зерна и, в первую очередь, пшеницы, Алтайский край входит в первую пятёрку регионов страны [1]. Учитывая это, большую актуальность приобретает создание современной техники, способной обеспечить качественный и своевременный посев зерновых культур.

Наилучшее обеспечение растений питательными веществами, воздухом и светом может быть получено при дифференцированном распределении растений по площади поля в

зависимости от рельефа поля, концентрации питательных элементов и воды в почве. В конструкциях зерновых сеялок применяются передачи со сменными звёздочками, редукторы, вариаторы, сдвигающиеся катушки высевальных аппаратов, позволяющие изменять норму высева семян. Но для дифференцированного изменения нормы высева семян необходимо разработать вариатор, передаточное отношение которого можно изменять дистанционно, например, с кабины трактора или с применением системы спутникового ГЛОНАСС/GPS мониторинга сеялки.

**Цель работы** – повышение эффективности работы зерновой сеялки, за счёт применения вариатора высевальной системы, передаточное отношение которого можно изменять дистанционно.

**Предмет конструирования.** Импульсные вариаторы, применяемые во многих отраслях промышленности, в том числе в конструкциях сеялок (например, вариатор сеялки Amazone-D9[2]), отличаются относительной простотой, надёжностью. Поэтому за основу принят импульсный вариатор. Предложено качательные элементы вариатора выполнить в виде эксцентриков-шестерён с мелким зубом. Разработана схема вариатора. Произведены расчёты параметров предлагаемого вариатора. При частоте вращения ведущего вала 455 об/мин, частота вращения ведомого вала может изменяться в пределах 0-150 об/мин. Определены: диаметр входного вала (входной вал, вал шестерни рычага)  $d_{вх} = 30\text{мм}$ ; диаметр выходного вала (выходной вал, обгонная муфта)  $d_{м} = 30\text{мм}$ ; наружный диаметр обгонной муфты  $D_{м} = 105\text{мм}$ ; делительный диаметр шестерён (он же диаметр эквивалентных кулачков)  $d = 120\text{мм}$ ; межцентровое расстояние рычага (высота расположения валов)  $R = H = 130\text{мм}$ ; эксцентриситет шестерён  $e = 36\text{мм}$ ; горизонтальное расстояние между валами  $l = d = 120\text{мм}$ ; коэффициент эксцентриситета  $\xi = 0,55385\text{мм}$ ; коэффициент делительного диаметра  $k = 0,9231\text{мм}$ . При построении графика функции  $\alpha(\varphi)$  при различных углах опережения  $\varphi_0$  ( $\varphi_0$  от 0 до  $180^\circ$ ), определили что при  $\varphi_0 = 180^\circ$  механизм вообще останавливается.

**Рекомендации по использованию полученных результатов.** Полученные параметры импульсного вариатора будут использованы при разработке конструкторской документации опытного образца.

**Дальнейшие направления работы.** Необходимо изготовить опытный образец вариатора, исследовать его динамические характеристики.

Список литературы:

1. Растениеводство. Официальный сайт «Главное управление сельского хозяйства Алтайского края». <http://www.altagro22.ru/apk/rastenievodstvo/> (дата обращения 12.01.2014).
2. Зерновая сеялка Amazone-D9. <http://hitagro.ru/zernovaya-seyalka-amazone-d9/> (дата обращения 10.03.2014).

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ В РЕШЕТНО-ВИНТОВОМ СЕПАРАТОРЕ

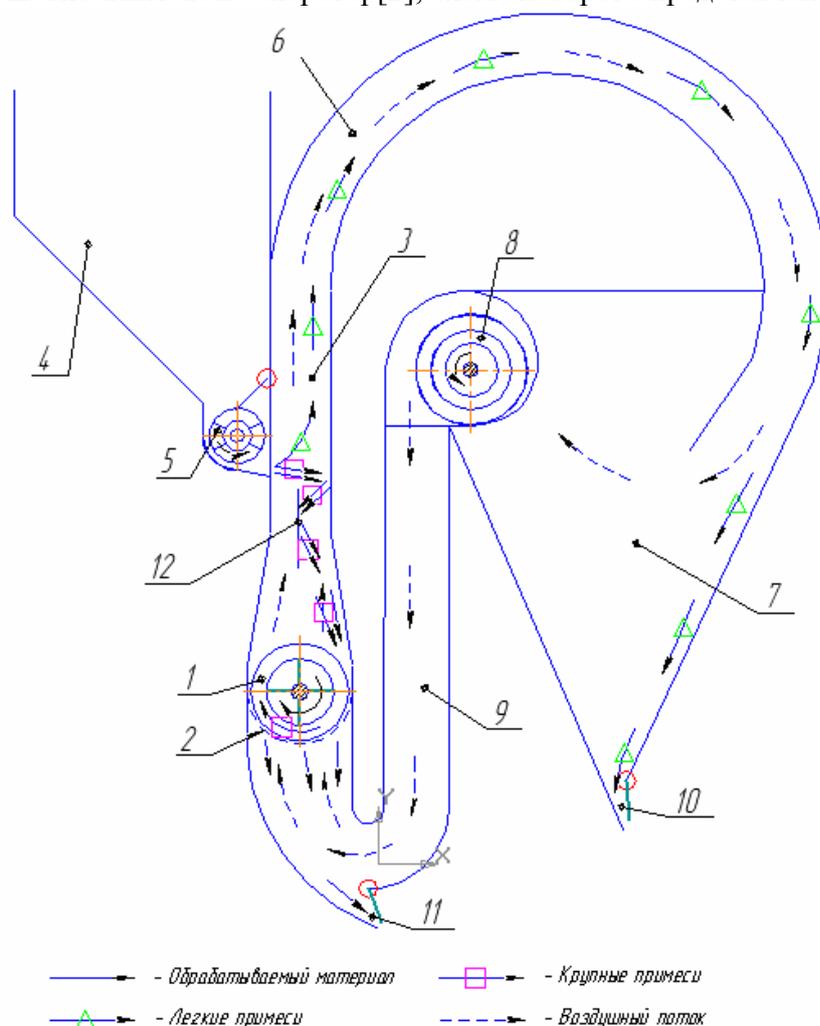
Тюленев Н.В. – аспирант, Сороченко С.Ф. – к.т.н, профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

**Актуальность темы.** Сепарация зернового материала является одной из важнейших технологических операций в процессах приемки, хранения и переработки зерна. При подготовке посевного материала степень очистки зерна значительно влияет на урожайность и на качество хранения зерна. Степень очистки продовольственного зерна оказывает влияние на измельчение и шелушение, разделение промежуточных продуктов этих процессов,

определяет эффективность работы зерноперерабатывающих предприятий. Современное оборудование для сепарирования зерновой смеси по своим эксплуатационным качествам не полностью отвечает возрастающим требованиям промышленности[1].

Одним из направлений совершенствования сепараторов является улучшение работы пневмосепарирующих каналов, использование замкнутых пневматических систем и применение роторных рабочих органов, совмещающих операции перемещения и сепарации зернового материала.

На кафедре сельскохозяйственного машиностроения разработан комбинированный пневматический решётно-винтовой сепаратор[2], схема которого представлена на рисунке 1.



1 – ленточный двухзаходный шнек; 2 – цилиндрическое решето; 3 – пневмосепарирующий канал; 4 – бункер; 5 – питатель; 6 – воздухоотводящий канал; 7 – осадочная камера; 8 – центробежные вентиляторы; 9 – нагнетательный канал; 10 – лоток легких примесей; 11 – лоток обрабатываемого материала; 12 – направитель

Рисунок 1 - Технологическая схема пневмосепаратора

Сепаратор работает следующим образом. Зерновая смесь из бункера 4 вбрасывается питателем 5 в пневмосепарирующий канал 3. Восходящий воздушный поток, создаваемый центробежными вентиляторами 8, продувает зерновую смесь. Легкие частицы увлекаются воздухом вверх и, пройдя через воздухоотводящий канал 6, попадают в осадочную камеру 7. Оставшийся обрабатываемый материал вместе с крупными примесями, имеющими скорость витания большую, чем скорость воздуха в сепарирующем канале, отражаясь от стенки канала и направителя 12, поступает на начало цилиндрического решета 2, затем перемещается по нему спиралью ленточного шнека 1. При перемещении зерновая смесь совершает сложное движение – переносное вместе со спиралью шнека и относительное по спирали. Через отверстия решета проходит зерновая фракция, а крупные примеси идут

сходом с решета и поступают в лоток крупных примесей. Зерновая фракция, прошедшая через решето, пройдя через гравитационную заслонку 11, поступает в лоток приема чистого материала. Использование двухзаходного ленточного шнека обеспечивает равномерное перемещение зерновой смеси по решету и снижение сопротивления воздушному потоку.

Для определения параметров решётно-винтовой части сепаратора необходимо определить траекторию движения зерновой смеси, перемещаемой спиралью шнека по решету.

**Цель работы** - разработка математической модели движения зерновой смеси по решету сепаратора.

#### **Математическое моделирование.**

Рассмотрим движение зерновой смеси в решётно-винтовой части сепаратора. Для предотвращения повреждения семян зазор  $S_p$  между спиралью и решетом должен быть не менее длины зерновки  $l$ , т.е.  $S_p \geq l$ . При выполнении указанного условия исключается контакт частицы одновременно со спиралью и решетом, что необходимо учесть в математической модели.

Введём следующие допущения: рассматриваем поведение отдельной частицы, движение которой подчиняется законам классической механики; частица перемещается спиралью шнека по слою семян, находящихся на решете; коэффициент трения частица – слой семян равен коэффициенту внутреннего трения семян.

На частицу действуют следующие силы, рисунок 2:

- сила тяжести  $G = m \cdot g$  (здесь  $m$  - масса частицы;  $g$  - ускорение свободного падения);
- нормальная реакция спирали  $N_1$ ;
- сила трения частицы о спираль  $F_1 = f_1 \cdot N_1$  (здесь  $f_1$  - коэффициент трения частицы о спираль);
- нормальная реакция нижнего слоя, находящегося на решете  $N_2$ ;
- сила трения частицы о нижний слой семян  $F_2 = f_2 \cdot N_2$  (здесь  $f_2$  - внутренний коэффициент трения семян);
- в соответствии с рекомендациями А.М. Григорьева [3], вместо сил центробежных, сил переносного, относительного движений и силы Кориолиса введем центробежную силу  $F_{ц}$  абсолютного движения точки  $F_{ц} = m \cdot \omega_a^2 \cdot \rho$  (здесь  $\omega_a$  - угловая скорость абсолютного движения частицы;  $\rho$  - расстояние от оси шнека до частицы);
- сила воздействия воздушного потока  $R_U = m \cdot k_{п} \cdot \Delta U^2$  (здесь  $k_{п}$  - коэффициент парусности частицы;  $\Delta U$  - относительная скорость частицы в воздушном потоке).

Так как решето сепаратора перпендикулярно воздушному потоку, а над частицей находится слой семян, то принимаем  $\Delta U = U$  (здесь  $U$  - скорость фильтрации воздуха через слой семян).

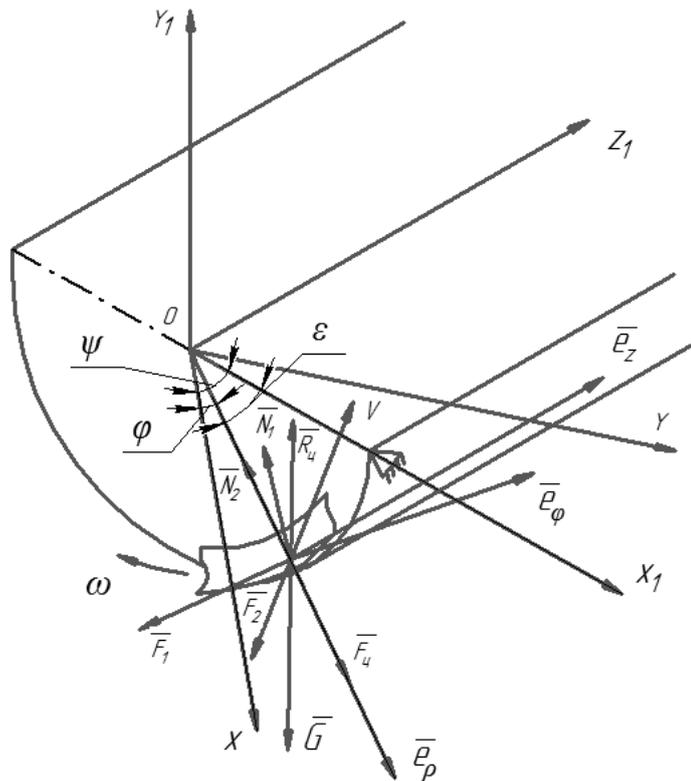


Рисунок 2 - Схема сил, действующих на частицу, перемещаемую спиралью по решетке:  $X_1 Y_1 Z_1$  – неподвижная система координат, связанная с решетом сепаратора;  $XYZ$  – система координат, связанная со шнеком сепаратора

Применив принцип Даламбера, запишем дифференциальную систему уравнений в цилиндрической системе координат  $\rho, \varphi, z$ , для чего спроецируем все силы на единичные орты  $\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi, \vec{e}_z$ , связанные с частицей и направленные в сторону увеличения координат  $\rho, \varphi, z$ . Получим:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{\rho} = G \cdot \sin \varepsilon + F_{ц} - N_2 - R_u \cdot \sin \alpha \\ m \cdot \rho \cdot \ddot{\varphi} = -G \cdot \cos \varepsilon + f_2 \cdot N_2 \cdot \cos \beta - f_1 \cdot N_1 \cdot \cos \alpha - N_1 \cdot \sin \alpha + R_u \cdot \cos \varepsilon, \\ m \cdot \ddot{z} = N_1 \cdot \cos \alpha - f_1 \cdot N_1 \cdot \sin \alpha - f_2 \cdot N_2 \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (1)$$

где  $\alpha$  - угол подъема винтовой линии  $\alpha = \arctg \frac{S}{2\pi r}$ ;  $r$  - радиус шнека;  $S$  - шаг винта;  $\beta$  - угол между векторами переносной  $\vec{V}_n$  и абсолютной  $\vec{V}$  скоростей;  $\varphi$  - угол на который отклоняется частица при вращении шнека с постоянной угловой скоростью  $\omega_0$ ;  $\frac{d\varphi}{dt} = \omega$  - угловая скорость относительного движения частицы;  $\varepsilon$  - угол определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости  $\varepsilon = \psi + (-\varphi)$ ;  $\psi = \omega_0 t$  - угол поворота шнека за время  $t$ .

**Вывод и рекомендации по использованию полученных результатов.** Полученная система уравнений описывает траекторию движения зерновой смеси по решетке, её численное решение позволит выявить рациональные параметры решетно-винтовой части сепаратора.

#### Список литературы:

1. Ямпиллов, С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян [Текст]/ С.С. Ямпиллов.- Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003.-262с.

2. Сепаратор зерновой смеси: пат 2503169 Рос. Федерация: МПК А 01F 12/44 Сороченко С.Ф., Тюленев Н.В., Лебедев А.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» - № 2012114168/13; заявл. 10.04.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. – 8 с.

3. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры [Текст]/ А.М. Григорьев.- М.: Изд-во Машиностроение, 1972.-184 с.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ SiC В КАНАЛЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Макарова Н.А. – аспирант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Технологии модификации поверхности служат для восстановления поверхности детали или придания ей особых свойств путем нанесения дополнительного покрытия [6]. Поверхностные покрытия занимают все более важную роль в промышленности. Это обусловлено повышением энергоэффективности и увеличением срока службы конструкций с напыленными покрытиями. Газотермическое напыление занимает уникальное положение в спектре технологий модификации поверхности по сравнению с другими технологиями нанесения покрытий, такими как гальванопластика [3]. Методом газотермического напыления можно наносить металлы, сплавы, керамические материалы, пластики и композиты [4].

Газотермическое напыление (ГТН) – это процесс нагрева, диспергирования и переноса конденсированных частиц распыляемого материала газовым потоком и формирование на подложке компактного слоя материала [6].

Существует несколько методов ГТН, хорошо зарекомендовавших себя в решении различных задач напыления. На рисунке 1 представлена сравнительная диаграмма наиболее распространенных методов ГТН в зависимости от скорости, до которой разгоняются напыляемые частицы и температуры их нагрева [5].

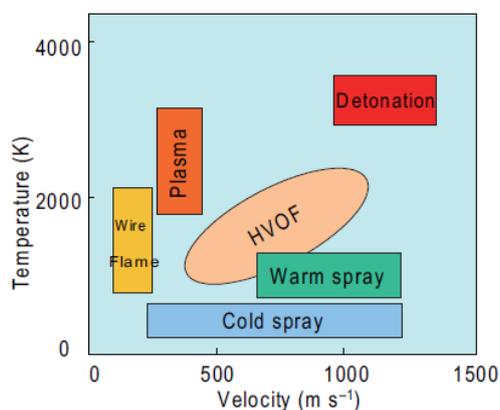


Рисунок 1 – Диаграмма методов ГТН в зависимости от скорости (Velocity) и температуры (Temperature) частиц, где wireflame – газопламенное напыление, plasma – плазменное напыление, detonation – детонационное напыление, HVOF – высокоскоростное напыление, coldspray – холодное напыление, warm spray – «теплое» напыление

Каждый из существующих методов хорошо зарекомендовал себя применительно к определенным типам задач. При этом потребности производства диктуют необходимость разрабатывать новые способы нанесения покрытий [4].

Актуальность работ по численному моделированию процессов газотермического напыления обусловлена высокой стоимостью проведения физических опытов, проблемами с

воспроизводимостью условий эксперимента, трудной регистрацией параметров быстропротекающих процессов.

Автором была разработана методика проведения виртуального эксперимента по процессу движения продуктов реакции и частиц порошка в камере и стволе устройства для детонационного напыления и проведено исследование линий тока частиц порошка. Исследование проводилось конечно-элементной методикой Вычисляемая жидкостная динамика (ComputationalFluidDynamics - CFD) в среде AnsysWorkbench. При моделировании был использован карбид кремния (SiC), как один из наиболее часто используемых материалов при газотермическом напылении.

Математическая модель основана на уравнениях Навье-Стокса (1):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = 0,$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = S_i, \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) = S_k u_k + Q_H,$$

где  $u_i$  - компоненты вектора скорости газа;

$\rho, P$  - плотность и давление газа;

$S_i$  - внешние объемные силы;

$E$  - полная энергия единичной массы газа;

$Q_H$  - тепло, выделяемое в единичном объеме газа;

$\tau_{ik}$  - тензор вязких сдвиговых напряжений;

$q_k$  - тепловой поток.

При моделировании горения использовалась модель конечной скорости химических реакций. В этом случае химическая реакция горения описывается как совокупность элементарных реакций.

При моделировании использовалась модель устройства, разработанного японскими учеными Сэидзи Курода, Дзин Кавакита, Макото Ватанабэ (Национальный институт материаловедения) и Хироси Катанода из г. Кагошима. На рисунке 2 представлена принципиальная схема так называемого warm spraying («теплое» напыление) – метода напыления, идея которого основана на смешении инертного газа (азота) и реагирующей смеси для контроля над температурой частиц [2].

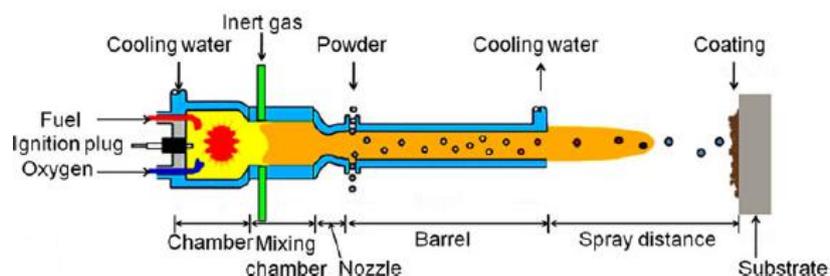


Рисунок 2 – принципиальная схема устройства для warm spraying, где fuel – топливо, ignition plug – свеча зажигания, oxygen – кислород, cooling water – охлаждающая вода, inert gas – инертный газ, powder – порошок, chamber – камера, mixing chamber – смесительная камера, nozzle – сопло, barrel – ствол, spray distance – дистанция напыления, coating – покрытие, substrate – подложка

На рисунке 3 представлена диаграмма скорости продуктов реакции. Как видно, максимальная скорость 2350 м/с, на выходе из устройства скорость достигает значений 1200-1700 м/с.

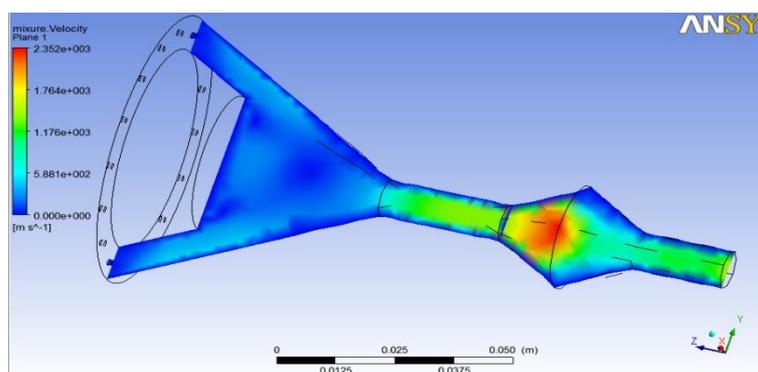


Рисунок 3 – Диаграмма скоростей продуктов реакции

Важно знать не только скорость продуктов реакции, но и скорости напыляемых частиц. На рисунке 4 представлена диаграмма распределения частиц напыляемого порошка в стволе устройства для напыления. Как видно из анализа диаграммы, максимальная скорость частиц порядка 440 м/с и достигается на выходе из устройства. При этом наблюдаются нежелательные линии обратного тока, что будет приводить к неэкономному расходу порошка и засорению ствола устройства.

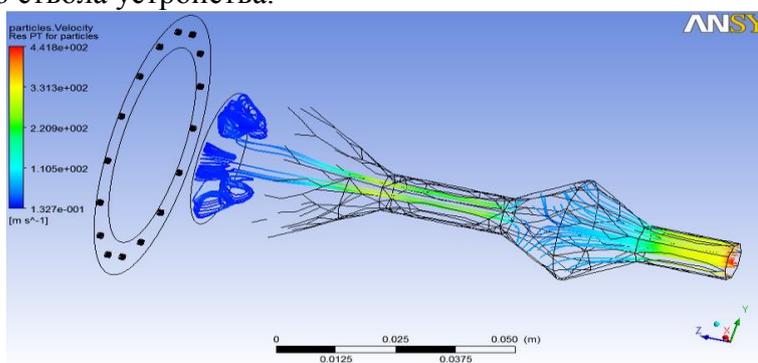


Рисунок 2 – Диаграмма распределения скорости частиц SiC в модели устройства для детонационного напыления

Таким образом, методом компьютерного моделирования был проведен анализ скорости продуктов реакции и частиц порошка SiC при движении в стволе устройства для детонационного напыления. Была получена диаграмма распределения скоростей, из которой следует, что максимальная скорость частиц 440 м/с, но при данной конструкции устройства наблюдаются линии обратного тока частиц.

#### Список литературы:

1. Kim K., Kuroda S., Watanabe M/ Microstructural Development and Deposition Behavior of Titanium Powder Particles in Warm Spraying Process: From Single Splat to Coating / Journal of Thermal Spray Technology, 2010 vol. 19 (6), pp. 1254-1264.
2. Kim K., Kuroda S., Watanabe M., Huang R., Fukunuma H., Katanoda H. Comparison of Oxidation and Microstructure of Warm-Sprayed and Cold-Sprayed Titanium Coatings / Journal of Thermal Spray Technology, 2012 vol. 21 (3-4), pp. 550-560.
3. Kuroda S., Kawakita J., Watanabe M., Katoda H. Warm spraying—a novel coating process based on high-velocity impact of solid particles / Sci. Technol. Adv. Mater., 2008, 9(3), p 033002 (17 pp).
4. Pawlowski L. The Science and Technology of Thermal Spray Coatings / L. Pawlowski. – New York: Wiley, 2006 – 644 p.
5. Yokoyama K., Watanabe M., Kuroda S., Gotoh Y., Schmidt T., Gertner F. / Simulation of Solid Particle Impact Behavior for Spray Processes. / Materials Transactions, Vol. 47, No. 7 (2006) pp. 1697-1702.

6. Газотермическое напыление: учебное пособие / кол.авторов; под общей ред. Л.Х. Балдаева. – М: Маркет ДС, 2007. – 344 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РЫНКА УСЛУГ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Дубовцев Н.В. – студент гр. АиАХ – 91, Шапошников Ю.А. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Потенциальный спрос на сервисное обслуживание автомобилей, неразрывно связан с количеством продаваемых автомобилей в России и числом автомобилей, находящихся в собственности граждан.

В последние годы наблюдается повышение объема оказываемых услуг по обслуживанию автомобилей. Это конечно же связано с увеличением парка авто в РФ. Следует ожидать, что в ближайшие годы спрос на обслуживание и ремонт значительно увеличится, т.к. количество поддержанных и новых автомобилей неуклонно растет.

По данным Комитета автопроизводителей Ассоциации Европейского бизнеса (АЕВ) в 2013 году в России продано 2,78 млн. новых автомобилей, что на 5,5% меньше чем в 2012 году. Вслед за традиционно занимающей первое место Ладой, лидируют: Renault, продавший 210 тыс. авто, KIA - 198 тыс. и Hyundai - 181 тыс. Десятка самых продаваемых моделей новых автомобилей в России в 2013 году представлена в таблице 1 /1/.

Таблица 1 - Десятка самых продаваемых моделей новых автомобилей в России в 2013 году

<u>Место</u> ▼	<u>Модель</u>	<u>Марка</u>	<u>Продано</u>	<u>Из</u> <u>мен.</u>
1	Granta	Lada	166947	38 %
2	Solaris	Hyundai	113991	3 %
3	New Rio	KIA	89788	6 %
4	Duster	Renault	83702	77 %
5	Polo	VW	72565	5 %
6	Kalina	Lada	67960	- 43%
7	Focus	Ford	67142	- 27%
8	Priora	Lada	57687	- 54%
9	Largus	Lada	57641	29 6%
10	Cruze	Chevrolet	54367	- 14%

На основе статистической информации, представленной на рисунке 1, можно сделать вывод об увеличении за 2007 - 2013 годы объема продаж автомобилей в России

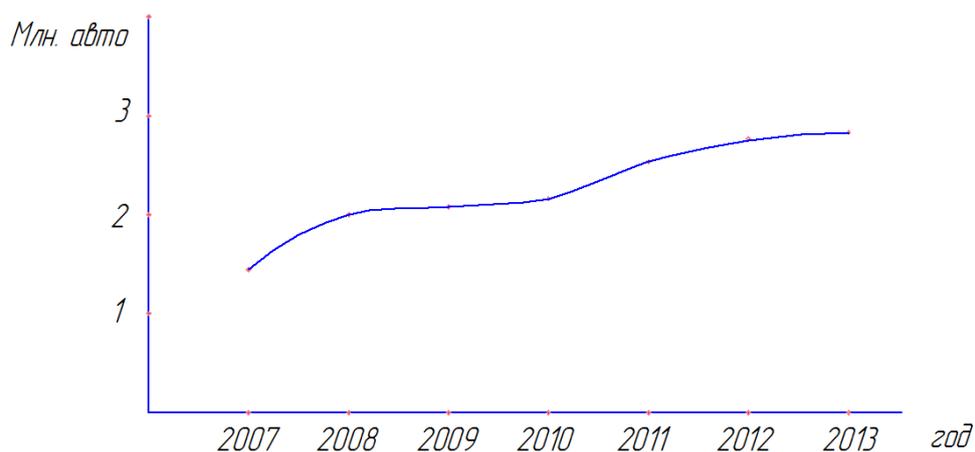


Рисунок 1 -Динамика продаж новых автомобилей в России

В рейтинге ТОП-100 стран по обеспеченности автотранспортом, составленном отделом аналитики аналитическим агентством «АВТОСТАТ», Россия занимает 46 строчку. Согласно рейтингу в нашей стране 271 автотранспортное средство приходится на каждую тысячу жителей (рисунок 2). Показатель включает коммерческую технику /2/.

*автомобили/1 тыс. человек*

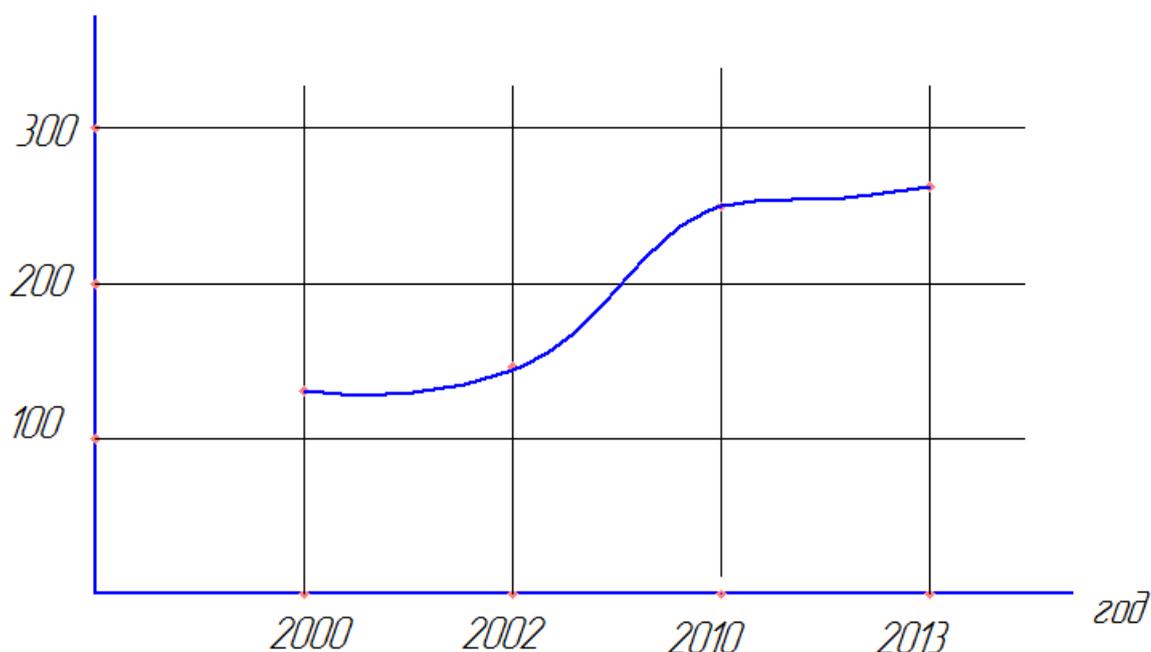


Рисунок 2 –Динамика автомобилизации населения регионов России (авто/1000 чел.)

Среди подержанных автомобилей в десятку лидеров по продажам вошли следующие модели (приведены в убывающей последовательности): Ford Focus, Volkswagen Passat, Renault Megane, ВАЗ 2115, Nissan Almera, ВАЗ 2114, Mitsubishi Lancer, Opel Astra, ВАЗ 2112, Volkswagen Golf. Средняя стоимость подержанной «иномарки» составила 502 645 рублей (снизилась на 3,1% по сравнению с 2012 годом), отечественного автомобиля 158 197 рублей (рост на 8,7%) /1/.

Сложившийся автомобильный рынок автомобилей на текущий период представлен на диаграмме представленной на рисунке 3.

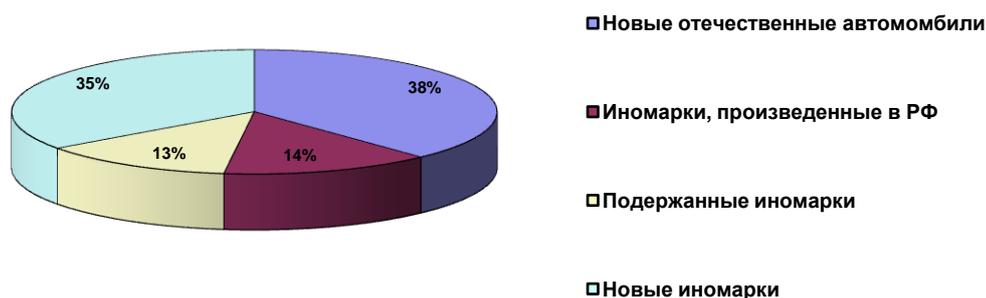


Рисунок 3– Рынок автомобилей в РФ

По данным аналитического агентства "АВТОСТАТ" по состоянию на 1 января 2013 года парк легковых автомобилей на территории РФ составил 36,9 млн. единиц. При этом сам парк имеет довольно высокий средний возраст. Так, на долю машин старше 10 лет приходится почти половина (49,9%), что соответствует 18,42 млн. единиц. В то же время новых машин (до 3-х лет) числится 6,28 млн. экземпляров (17%).

Свыше половины парка легковых автомобилей в стране принадлежит отечественным маркам, безоговорочным лидером среди которых является LADA. В настоящее время ее доля равна 37% российского парка, т.е. в стране эксплуатируется 13,67 млн. «вазовских» автомобилей. На долю других российских марок приходится более 13%, что эквивалентно 4,9 млн. автомобилей. Оставшуюся часть, т.е. около половины парка, занимают «иномарки», которых насчитывается в количестве 18,19 млн. единиц.

В марочной структуре парка безоговорочное лидерство принадлежит отечественному бренду LADA (рис. 4). Вторым по численности и первым среди иномарок является японский производитель Toyota (рис. 5), на долю которого приходится каждый двенадцатый легковой автомобиль (3,13 млн. единиц). На третьем месте с долей 4,1% располагается другая компания из Страны восходящего солнца - Nissan, продукции которой числится более 1,5 млн. машин.

Наибольшее количество легковых автомобилей по итогам 2012 года зарегистрировано в Центральном федеральном округе (10,77 млн. единиц), которому принадлежит 29,2% от всего парка. Вторую позицию в рейтинге занимает Приволжский ФО, на долю которого приходится 19,1% (7,04 млн. штук). Третьим по численности состоящих на учете в ГИБДД легковых транспортных средств является Сибирский ФО - 4,74 млн. автомобилей (12,9%) /2/.

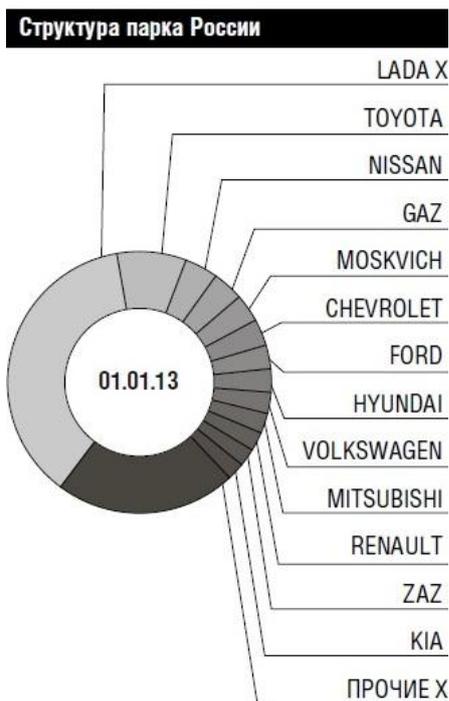


Рисунок 4 – Диаграмма парка автомобилей

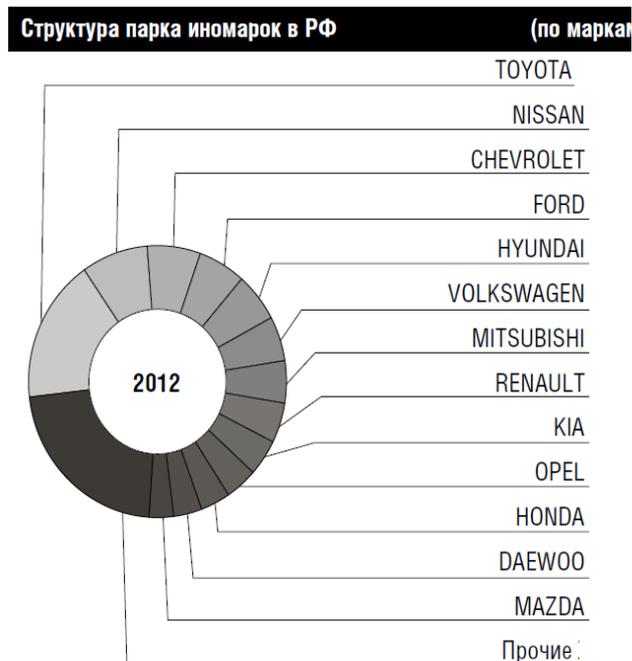


Рисунок 5 – Структура парка иномарок

Используя накопленные ранее базы данных по парку и продажам новых легковых автомобилей в РФ, специалисты агентства "АВТОСТАТ" также подготовили прогноз формирования парка до 2017 года включительно, который учитывает текущую ситуацию в экономике (рис. 6). При прогнозировании дальнейшего изменения структуры парка автомобилей учитывались оценки объема продаж новых автомобилей по всем ведущим маркам, а также динамика ввоза подержанной техники в течение последних лет. При обработке все данные подверглись корректировке с учетом возрастного состава и степени износа парка /2/.

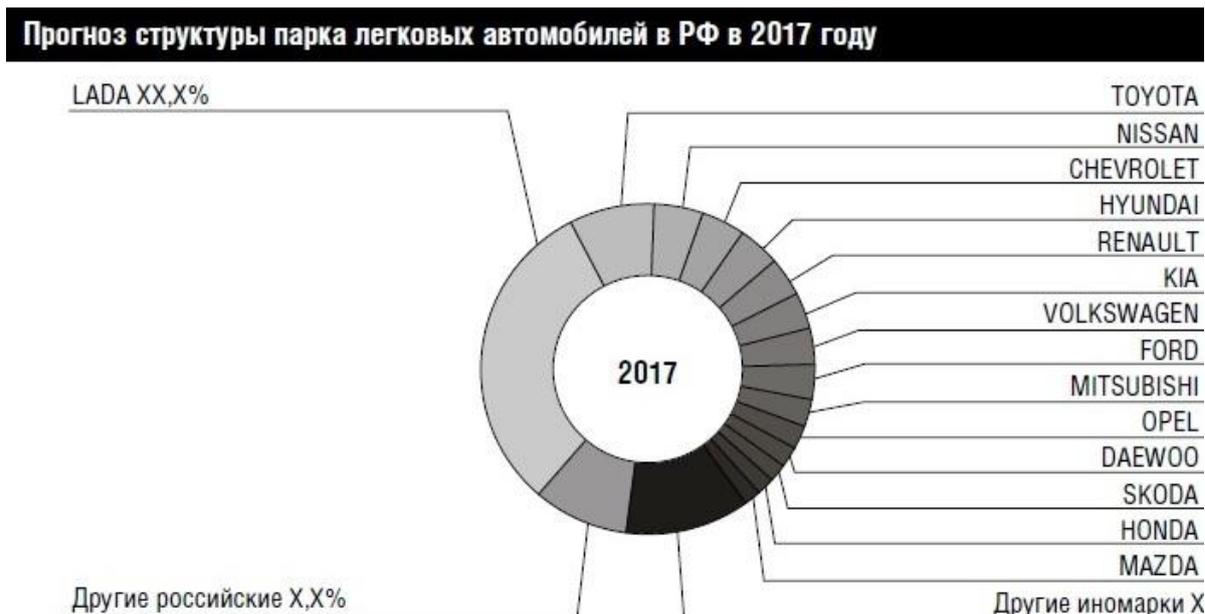


Рисунок 6 – Прогноз структуры парка легковых автомобилей в РФ в 2017 году

Более 97% легкового парка используется гражданами в личных целях (перевозки, бытовые, рекреационные поездки) и обеспечивают значительный объем перевозок, сопоставимый с объемом перевозок автобусного парка общего пользования. Эти автомобили являются важным сектором автотранспортного комплекса страны.

Из представленной информации следует, что увеличение продаж новых автомобилей, приведет к увеличению и количества подержанных автомобилей. Поддержание этого парка в работоспособном и технически исправном состоянии осуществляется сервисной системой, в состав которой входят специализированные и универсальные станции технического обслуживания (СТО), авторемонтные мастерские (АРМ), комплексные автозаправочные станции (КАЗС). Эти предприятия выполняют разнообразные работы по обслуживанию и ремонту, включая заправочные, моечные, уборочные и другие. В инфраструктуры их деятельности могут быть включены гаражи и стоянки, кемпинги и пр. Таким образом, в ближайшие годы следует ожидать повышения спроса на услуги сервиса, технического обслуживания и ремонта автомобилей. Разнообразие автопарка стимулирует создание крупных универсальных станций технического обслуживания, с широким спектром услуг для большинства марок авто.

#### Список литературы:

1. Автомобильная статистика и рейтинги: [Электронный ресурс] // Автостатистика, 2007-2014. URL: [http://serega.icnet.ru/CarSale\\_2013\\_1.html](http://serega.icnet.ru/CarSale_2013_1.html) (дата обращения: 17.04.2014).
2. Рынок легковых автомобилей в России. Итоги 6 месяцев 2013 года, тенденции и перспективы: [Электронный ресурс] // АВТОСТАТ Аналитическое агенство, 2005-2014. URL: <http://www.autostat.ru/catalog/product/160/> (дата обращения: 14.04.2014).

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СТРУИ ДИЗЕЛЯ

Якименко П.А. – магистрант гр. 8ЭМ-32, Ульрих С.А., к.т.н.,

Сеначин П.К. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Приведена математическая модель топливно-воздушной струи в дизеле, с результатами проведенного моделирования в разработанной программе. Рассматривается вопрос применения разработанной математической модели топливно-воздушной струи топлива в дизельном двигателе внутреннего сгорания (ДВС) в рамках описания рабочего процесса ДВС.

Математическая модель топливного факела (струи) основана на следующих предположениях. Факел представляется в форме усеченного конуса, распространяющегося с неизменным углом раствора (Рисунок 1). Вершина конуса располагается внутри соплового канала, а начало координат на оси факела на срезе сопла. Неоднородность факела приближенно учитывается разбиением его на зоны (в данной версии шесть зон) плоскостями, перпендикулярными оси симметрии, делящими факел на слои и конической поверхностью, делящей каждый слой на две концентрические зоны.

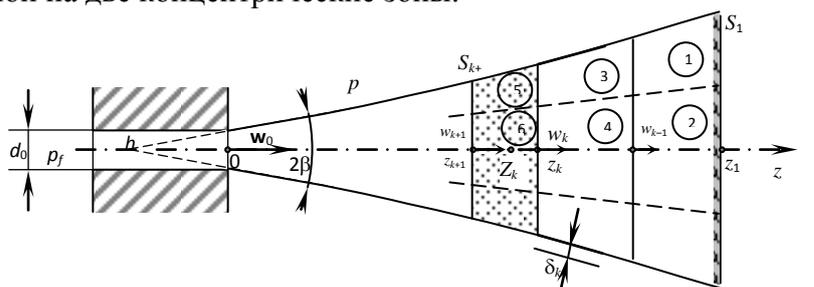


Рисунок 1 – Схема шестизонной модели топливно-воздушного факела дизеля

Топливовоздушный факел представляется как *изотермический*, для которого в нулевом приближении весь факел, с точки зрения механики, представляется материальной точкой, с текущей координатой  $Z$  (находящейся на оси факела), движущейся с переменной скоростью  $W$ , причём вдоль оси факела сохраняется линейная зависимость между координатами любых двух элементарных слоев ( $z_1; z_1 + dz$ ) и ( $z_2; z_2 + dz$ ) и их скоростями ( $w_1, w_2$ ) в течение всего времени движения факела.

При рассмотрении топливного факела дизеля как изотермического теплообменом и испарением капель топлива можно пренебречь, поэтому **уравнения состояния и энергии** всего газа, включая воздух дизельных факелов, будут представлены термодинамическими зависимостями:

$$pV = \frac{m_a}{M_a} RT = \frac{p_a V_a}{T_a} T; \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{C_{pa}}{C_{pa} - R} \cdot \frac{p}{V} \cdot \frac{dV}{dt} = -\gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

где  $m_a, M_a, V_a$  и  $T_a$  – масса, молярная масса, объём и температура газа в момент начала впрыска топлива (при рассмотрении цилиндра ДВС – момент закрытия впускного клапана) соответственно;  $C_{pa}$  – молярная теплоемкость газа в тот же момент.

При впрыске топлива в бомбу постоянного объема будут неизменными начальные значения давления и температуры газовой фазы  $p_0 = \text{const}, T_0 = \text{const}$ .

Для проведения расчётов динамики топливного факела использовалась его упрощённая **однозонная математическая модель** (Рисунок 2), которая предполагает описание факела (топливно-воздушной струи) как до момента отрыва от сопла форсунки и так после отрыва (в данном случае факел рассматривается как материальная точка). Приведенные ниже системы уравнений описывают движение центра масс дизельного факела.

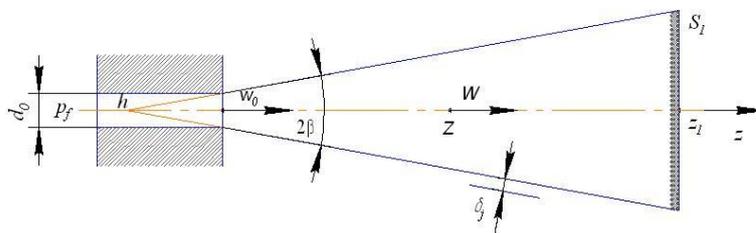


Рисунок 2 – Топливный факел при однозонном его представлении

Координата центра масс факела,  $Z$ , описывается как

$$Z_{\text{теор}} = \frac{m_f Z_f + K_{\text{air}} m_{\text{air}} Z_{\text{air}}}{m_{\phi}}, \quad (3)$$

где  $m_{\phi} = m_f + K_{\text{air}} m_{\text{air}}$  – масса факела;  $m_f$  – масса топлива (жидкого) в факеле;  $m_{\text{air}}$  – масса вовлеченного воздуха в факел;  $Z_f$  и  $Z_{\text{air}}$  – координаты центра масс топлива и вовлеченного воздуха соответственно;  $K_{\text{air}}$  – коэффициент учёта массы присоединенного воздуха.

Факел также представляется в форме усеченного конуса, распространяющегося с неизменным углом раствора  $2\beta$ . Вершина конуса располагается внутри соплового канала на расстоянии  $h$  от начала координат, которое располагается на оси факела на срезе сопла.

Определение показателей, характеризующих динамику факела, сводится к решению следующих систем уравнений до момента отрыва от сопла и после отрыва от сопла.

**Система уравнений дизельного факела до момента отрыва от сопла**, инжектируемого в бомбу постоянного давления (БПД) представлена следующими уравнениями:

– уравнение координаты фронта факела

$$\frac{dz_1}{dt} = w_1; \quad (4)$$

– уравнение координаты центра масс факела

$$\frac{dZ}{dt} = W; \quad (5)$$

– уравнение скорости фронта факела

$$w_1 = 1.414W; \quad (6)$$

– уравнение ускорения центра масс факела

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{\pi z_1 d_0 K_v W^2}{V_\phi} \left(1 + \frac{z_1}{2h_0}\right) - \frac{S_0}{m_\phi} \left\{ \rho_f w_0 (W - w_0) + K_{air} \rho_{air} W \left[ \left(1 + \frac{z_1}{h_0}\right)^2 w_1 - w_0 \right] \right\}; \quad (7)$$

– уравнение текущего объёма факела

$$V_\phi = S_0 z_1 \left(1 + \frac{z_1}{h_0} + \frac{z_1^2}{3h_0^2}\right); \quad (8)$$

– уравнение текущей массы факела

$$m_\phi = S_0 \left[ K_{air} \rho_{air} \left( z_1 + \frac{z_1^2}{h_0} + \frac{z_1^3}{3h_0^2} - w_0 t \right) + \rho_f w_0 t \right]. \quad (9)$$

**Система уравнений динамики факела после отрыва от сопла** включает в себя уравнения (4) и (5), полагается, что скорость задней границы факела равна скорости центра масс  $w_2 = W$ , а также следующие выражения:

– уравнение координаты задней границы факела

$$\frac{dz_2}{dt} = w_2; \quad (10)$$

– уравнение скорости фронта факела

$$w_1 = W(1 + 0,4\tau/t); \quad (11)$$

– уравнение ускорения центра масс факела

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt} = & \frac{\pi d_0 K_v W^2}{V_\phi} \left[ z_2 \left(1 + \frac{z_2}{2h_0}\right) - z_1 \left(1 + \frac{z_1}{2h_0}\right) \right] + \\ & + \frac{K_{air} \rho_{air} S_0 W}{m_\phi} \left[ \left(1 + \frac{z_2}{h_0}\right)^2 w_2 - \left(1 + \frac{z_1}{h_0}\right)^2 w_1 \right]; \end{aligned} \quad (12)$$

– уравнение текущего объёма факела

$$\begin{aligned} V_\phi = & \frac{S_0 h_0}{3} \left[ \left(1 + \frac{z_1}{h_0}\right)^3 - \left(1 + \frac{z_2}{h_0}\right)^3 \right] = \\ & S_0 \left[ z_1 \left(1 + \frac{z_1}{h_0} + \frac{z_1^2}{3h_0^2}\right) - z_2 \left(1 + \frac{z_2}{h_0} + \frac{z_2^2}{3h_0^2}\right) \right]; \end{aligned} \quad (13)$$

– уравнение текущей массы факела

$$m_\phi = \rho_f S_0 w_0 \tau + K_{air} \rho_{air} (V_\phi - S_0 w_0 \tau). \quad (14)$$

Где обозначено:  $z_1$  - координата фронта факела;  $w_1$  - скорость факела на его фронте;  $Z$  - координата центра масс;  $z_2$  - координата задней границы факела;  $W$  - скорость центра масс факела;  $d_0$  - диаметр сопла форсунки (вершинный диаметр топливной струи);  $K_v$  - коэффициент потери импульса;  $V_\phi$  - геометрический объем факела;  $h_0 = d_0 / (2 \tan \beta)$ ;  $\beta$  - угол полураскрытия топливного факела;  $S_0 = \pi d_0^2 / 4$ ;  $m_\phi$  - масса факела;  $\rho_{air}$ ,  $\rho_f$  - плотности воздуха и топлива соответственно;  $w_0$  - скорость истечения топлива из сопла (принимается постоянной в течение всего времени впрыска топлива);  $K_{air}$  - коэффициента массы присоединенного воздуха.

Численные исследования по представленной системе уравнений проводились с использованием программы «Расчет динамики изотермического дизельного факела (TORCH\_izotermal)» [1].

Результаты полученных расчетных данных, по заданным параметрам, представлены в виде графической зависимости динамики переднего фронта топливного факела от времени на рисунке 3.

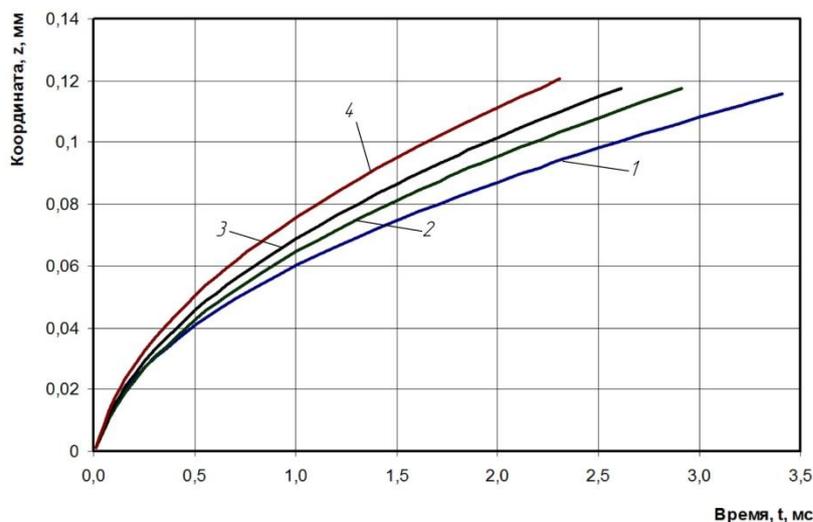


Рисунок 3 – Зависимость динамики переднего фронта топливного факела от времени по программе «Расчет динамики изотермического дизельного факела» при давлении впрыска топлива  $p_{ВПР}$ : 1- 60, 2-80, 3- 100 и 4- 140 МПа

Для сравнения полученных результатов был произведен расчет динамики топливно-воздушной струи по аналогичным параметрам с помощью программы «Дизель-РК» (Рисунок 4).

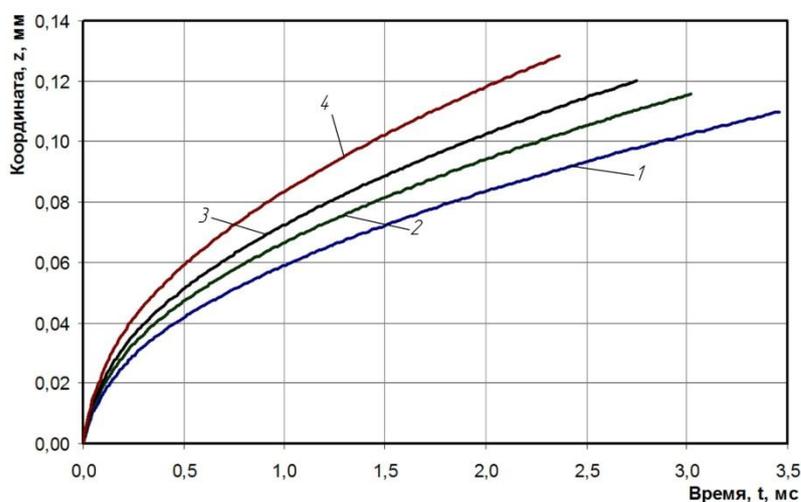


Рисунок 4 – Зависимость динамики переднего фронта топливного факела от времени, полученная в программе «Дизель-РК» при давлении впрыска топлива  $p_{ВПР}$ : 1- 60, 2-80, 3- 100 и 4- 140 МПа

Анализ полученных результатов расчетов с помощью этих двух программ показал, что отклонение при определении дальности топливно-воздушной струи составляет не более 9%. Таким образом, представленная модель, основанная на теоретических представлениях топливной струи как тела переменной массы [2], с отсутствием в математической модели эмпирических уравнений, дает удовлетворительную сходимость получаемых результатов экспериментальных исследований, и может быть использована для описания рабочего процесса в дизельном ДВС.

Список литературы:

1. Расчет динамики изотермического дизельного факела (TORCH-Izothermal): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011619013. / П.К. Сеначин, С.А. Ульрих, А.П. Сеначин, В.В. Чертищев; правообладатель ФГБОУ ВПО «Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова». – Заявка № 2011617184; за-явл. 27.09.2011 г.; зарегистр. 18.11.2011 г.

2. Сеначин П.К. и др. Моделирование геометрических и динамических параметров топливной струи при впрыске в камеру сгорания дизеля на основе эксперимента в бомбе / П.К. Сеначин, С.А. Ульрих, В.В. Чертищев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Процессы преобразования энергии и энергетические установки.- 2013.- Вып. 5, № 12(115).- С. 64-67.