

УДК 62-503.55

Система управления адаптивной системой охлаждения двигателей внутреннего сгорания

Р.Р. Салахов, В.М. Гуреев, А.Х. Хайруллин, И.Р. Салахов

Аннотация: Предлагается система управления адаптивной системой охлаждения ДВС, обеспечивающая высокие показатели топливной экономичности двигателя и снижающая выбросы вредных веществ.

Ключевые слова: система управления; помпа; система охлаждения; эффективность

КПД двигателей внутреннего сгорания составляет от 33 до 38 % и увеличивается с ростом их мощности. Распространенным направлением повышения энергетических и экологических показателей ДВС является их форсирование наддувом. Однако увеличение удельного эффективного давления в рабочей камере приводит к повышению уровня тепловой напряженности деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ), что приводит к образованию прогрессирующих микротрещин на охлаждаемых деталях ДВС. Механизм возникновения микротрещин обусловлен тем, что в двигателях различной мощности в первые 5-10 секунд работы происходит интенсивное нарастание температуры поверхности деталей ЦПГ, а процесс выхода системы охлаждения на стационарный режим работы занимает нескольких минут, что приводит к локальным перегревам¹.

Остановка двигателя после длительной эксплуатации также вызывает значительные термические напряжения в сильно нагретых деталях ЦПГ, поэтому после остановки ДВС для плавного охлаждения нагретых деталей двигателя система охлаждения (СО) должна еще работать в течение определенного времени. Традиционная СО ДВС с механическим приводом насоса и вентилятора от коленчатого вала лишена такой возможности.

¹Несиоловский О.Г., к.т.н., Улучшение показателей экономичности автомобильного дизеля за счет регулирования его теплового состояния. Автореферат диссертации, ЯПИ. Ярославль, 1995.

Особо стоит упомянуть о проблеме загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ ДВС. Данная проблема в настоящее время стоит наиболее остро, поэтому основной задачей при проектировании новых и совершенствовании показателей существующих ДВС является выполнение все более жестких экологических требований (норм "EURO - 5", "EURO - 6"). Влияние температуры охлаждающей жидкости на удельный эффективный расход топлива и оксиды азота в ДВС представлены на рисунке 1.

Для достижения необходимых экологических показателей ДВС требуется снижение общей тепловой напряженности и поддержание оптимальной температуры ЦПГ.

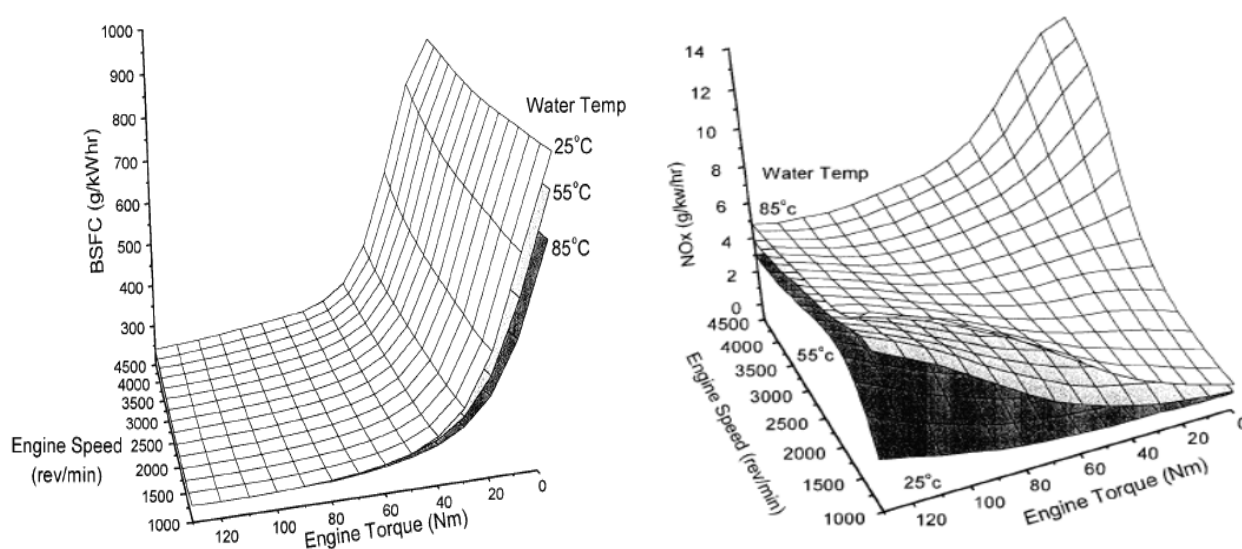


Рисунок 1 - Визуализация характеристик удельного эффективного расхода топлива (а) и выбросов оксидов азота (б) при различных температурах ОЖ с системой охлаждения дизеля типа 6ЧН 13/14

Стоит заметить, что применение материалов с низкой теплопроводностью (керамика, жаростойкие сплавы) для снижения потерь тепла в СО двигателя до настоящего времени не нашло широкого распространения. А внесение значительных конструктивных изменений в систему охлаждения двигателя сталкивается с рядом технических, технологических и финансовых проблем и является маловероятным.

Исходя из всего вышесказанного, следует, что повышение эффективности ДВС, улучшение его экологических и технико-экономических показателей требует новых подходов и решений. Именно таким решением и является переход ДВС на адаптивные системы охлаждения².

Адаптивная система охлаждения (АСО) – совокупность устройств, обеспечивающих подвод охлаждающей среды к нагретым деталям двигателя и отвод от них в атмосферу

²Chalgren, R.D., "Development and Verification of a Heavy Duty 42/14V Electric Powertrain Cooling System," SAE Paper 2003-01-3416.

лишней теплоты, которая должна обеспечивать наивыгоднейшую степень охлаждения и возможность поддержания в требуемых пределах теплового состояния двигателя при различных режимах и условиях работы³.

Основной агрегат подобных систем - насос с регулируемым электроприводом. Разработку подобных насосов уже ведут такие известные мировые бренды, как Valeo, Wahler, DANACorp., Delphi, EWP и др. Адаптивные насосы изготавливают, в отличие от традиционных механических автомобильных помп, с широким применением специальных пластиков, устойчивых к высоким температурам, вибрациям, механическим нагрузкам, химическому воздействию агрессивных рабочих жидкостей (антифризов, масел), что позволяет снизить их массу на 65% по сравнению с традиционными конструкциями, и на 30% повысить их долговечность.

Сравнение эффективности насоса с механическим и электрическим приводом, на примере дизелей Volvo VNL 64T 610 и Cummins N14-460E+ST2 ESP представлено на рисунке 2⁴.

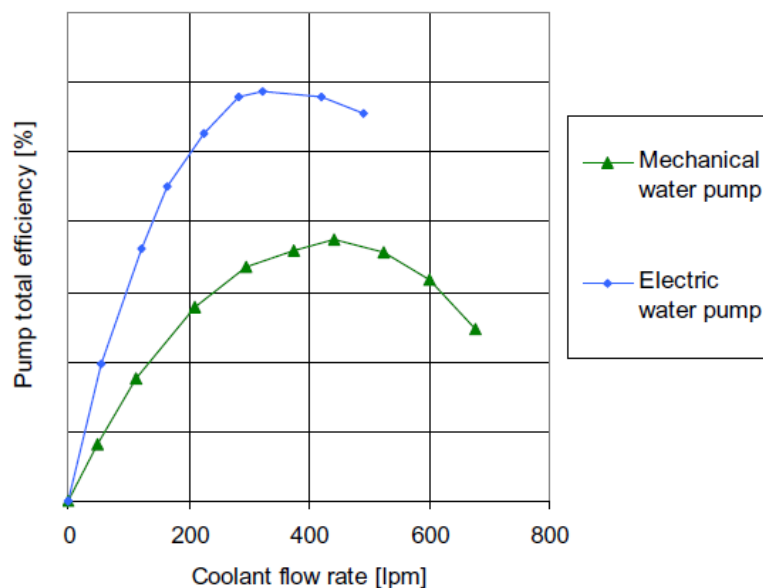


Рисунок 2 - Зависимость КПД насоса от расхода ОЖ

Из анализа представленных зависимостей видно, что насос СО двигателя с электрическим приводом в диапазоне расходов 200-600 л/мин превосходит по эффективности традиционный более чем на 20 %.

Явное преимущество насосов с электроприводом сделало их весьма привлекательными для использования в двигателях отечественного производства.

³Бесекаерский В. А., Попов Е. П., Теория систем автоматического регулирования.издательство «Наука», М., 1975, 768 стр.

⁴А.Л.Кригер, М.Е.Дискин, А.Л.Новенников.,В.И.Пийкус. Жидкостное охлаждение автомобильных двигателей - М.: Машиностроение, 1985.- 176 с.

Для решения задачи внедрения АСО в отечественные ДВС разработан алгоритм управления адаптивной системой охлаждения, представленный на рисунке 3. Данный алгоритм реализует задачи системы охлаждения с максимальной эффективностью на всех режимах работы, обеспечивает высокие показатели топливной экономичности двигателя и снижает выбросы вредных веществ.

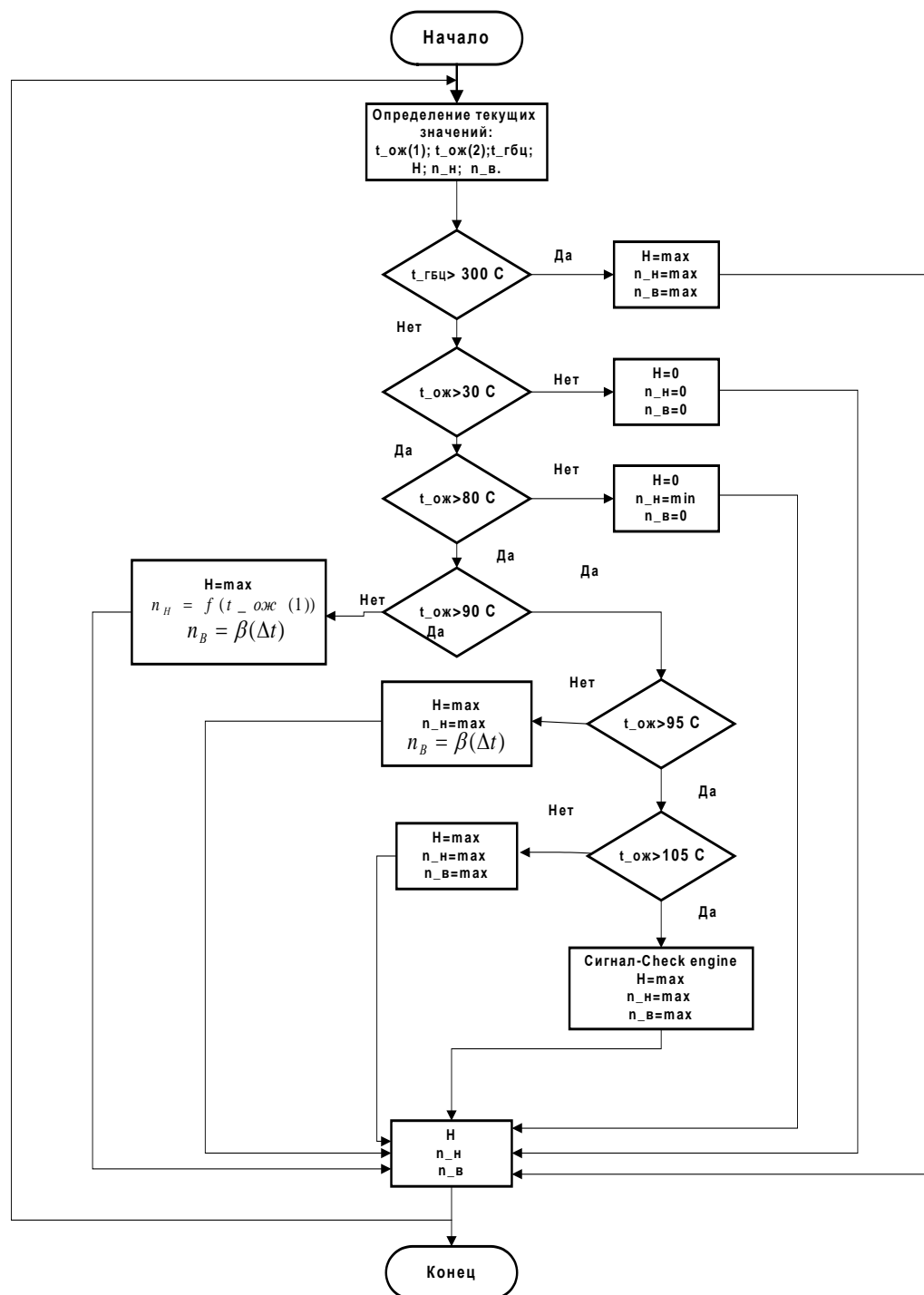


Рисунок 3 – Алгоритм управления адаптивной системой охлаждения

В состав системы управления адаптивной системой охлаждения ДВС входят следующие основные компоненты: насос с регулируемым электроприводом, 3-х ходовой клапан с электроприводом и управляющий контроллер. В контроллер интегрирована программа управления исполнительными механизмами, считывающая 3 параметра: температуры на входе и выходе из ДВС и температуру головки блока цилиндров в непосредственной близости от камеры сгорания.

В первую очередь контроллер проверяет температуру головки блока цилиндров. В случае если измеренная температура превышает 300°C , система переходит в режим максимального охлаждения: клапан переводится в полностью открытое состояние, насос и вентилятор работают на максимальных оборотах. На следующих шагах алгоритма с увеличением измеряемой температуры поэтапно включаются соответствующие исполнительные механизмы: элетропомпа, трехходовой клапан, вентилятор радиатора. Контрольными точками являются 30°C , 80°C , 90°C , 95°C и 105°C для температуры на выходе из двигателя. В случае выхода температуры блока ДВС за пределы допустимой температуры в 105°C , система переходит в аварийный режим, на панели приборов автомобиля загорается лампа «CheckEngine», дальнейшее движение в этом режиме запрещено.

Для проведения численных исследований, в программном комплексе LMS Imagine. LabAMESim построена функциональная модель системы, которая позволяет проводить виртуальные испытания различных компоновок перспективных АСО. На рисунках 4 и 5 представлены функциональные модели традиционной СО и АСО ДВС.

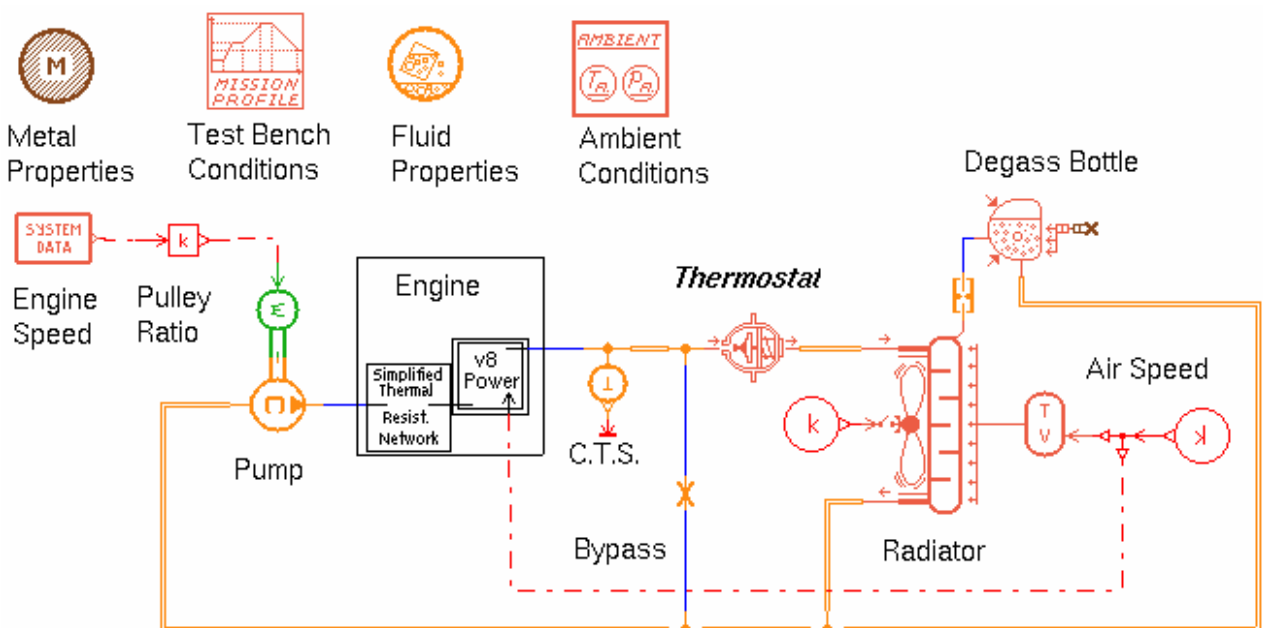


Рисунок 4 - Функциональная модель традиционной СО ДВС

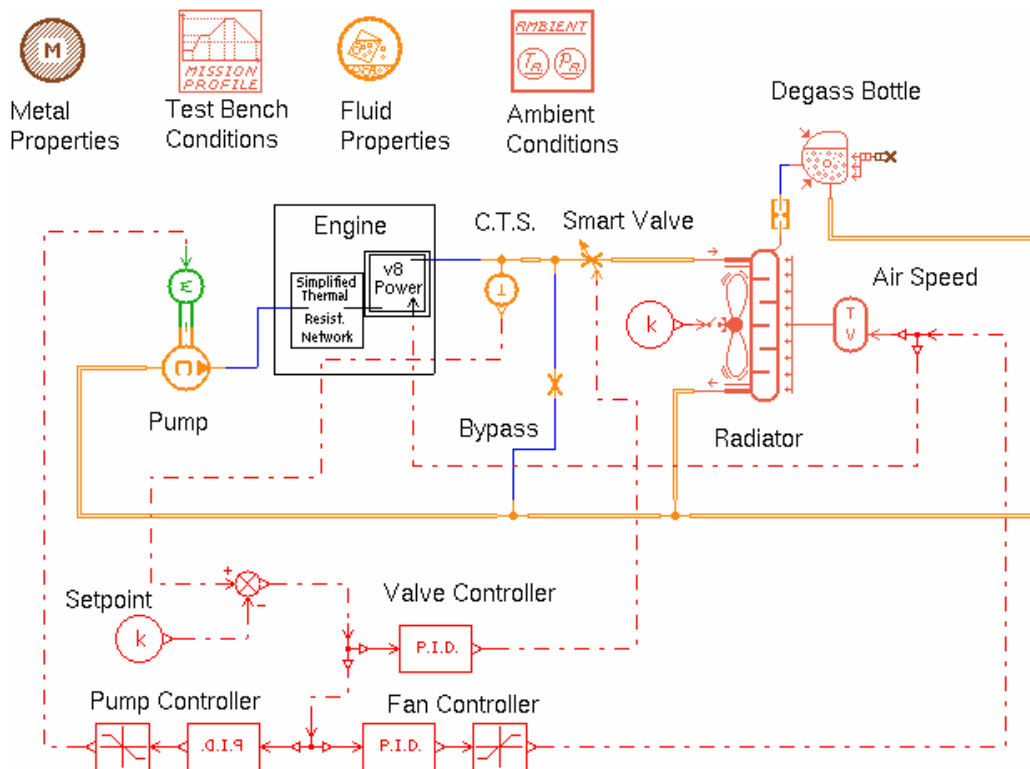


Рисунок 5 - Функциональная модель АСО ДВС

В функциональной модели АСО для проведения тестовых задач использован ПИД-регулятор, который формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе — интеграл сигнала рассогласования, третье — производная сигнала рассогласования. Формула ПИД-регулирования выглядит следующим образом:

$$n_{-н} = K_p \cdot f(t_{-ож}) + K_i \cdot \int_0^t f(t_{-ож}) \cdot dt + K_D \cdot \frac{df(t_{-ож})}{dt}$$

где: $t_{-ож}$ - температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя;

K_p — коэффициент пропорциональной составляющей;

K_i — коэффициент интегральной составляющей;

K_D — коэффициент дифференциальной составляющей.

Численные исследования тестируемых АСО в частности показали, что время прогрева ДВС снижается в 2 раза. Результаты показаны на рисунках 6 и 7.

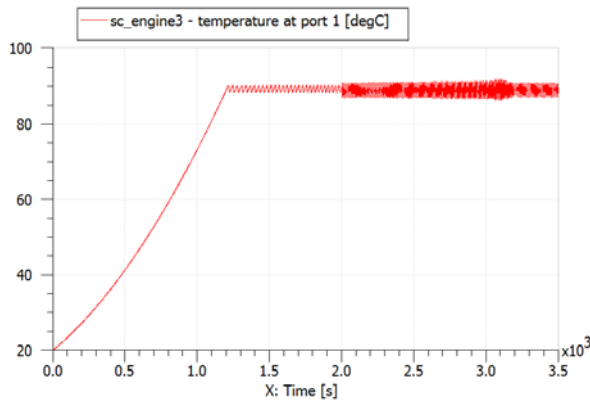


Рисунок 6 – Время прогрева ДВС с традиционной системой охлаждения

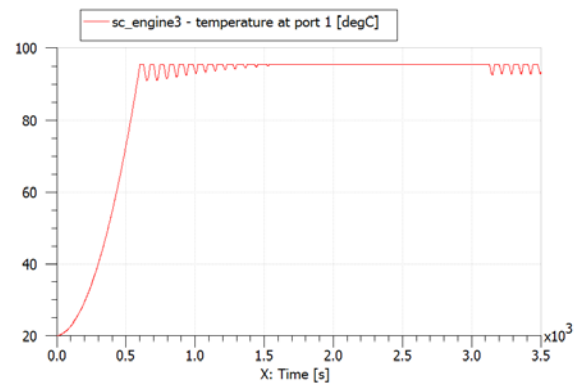


Рисунок 7 - Время прогрева ДВС с адаптивной системой охлаждения

Проводимые исследования должны подтвердить жизнеспособность идеи внедрения системы управления АСО ДВС в отечественные двигатели, определить диапазон применения, показать, что эта система позволит:

- 1) Уменьшить время прогрева ДВС – быстрый выход ДВС на оптимальный режим работы;
- 2) Снизить тепловую напряженность ЦПГ двигателя – повышенный ресурс, снижение эксплуатационных расходов;
- 3) Повысить топливную экономичность – улучшение коэффициента полезного действия ДВС;
- 4) Повысить экологичность – снижение затрат на борьбу с вредными выбросами.

Библиографический список

1. А.Л.Кригер, М.Е.Дискин, А.Л.Новенников.,В.И.Пийкус.Жидкостное охлаждение автомобильных двигателей - М.: Машиностроение, 1985.- 176 с.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П., Теория систем автоматического регулирования.издательство «Наука», М., 1975, 768 стр.
3. Несиоловский О.Г., к.т.н., Улучшение показателей экономичности автомобильного дизеля за счет регулирования его теплового состояния.Авторефератдиссертации, ЯПИ. Ярославль, 1995.
4. Chalgren, R.D., “Development and Verification of a Heavy Duty 42/14V Electric Powertrain Cooling System,” SAE Paper 2003-01-3416.

Сведения об авторах

Салахов Ришат Ризович, научный сотрудник КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева,
ул. К.Маркса, д.10, тел.: (843) 292-24-02, e-mail: akirishat@yandex.ru

Гуреев Виктор Михайлович, профессор, д.т.н. КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева, ул.
К.Маркса, д.10, тел.: (843) 292-24-02, e-mail: gureev.tot@mail.ru

Хайруллин Азат Хативович, КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева, младший научный сотрудник,
ул. К.Маркса, д.10, тел.: (843) 292-24-02, e-mail: azat-meh@mail.ru

Салахов Илфат Ризович, КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева, младший научный сотрудник, ул.
К.Маркса, д.10, тел.: (843) 292-24-02, e-mail: fix_m@mail.ru