ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертационную работу
АНТИПОВА ВЛАДИСЛАВА ВАЛЕРЬЕВИЧА

«НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СЛОИСТЫХ АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ВАРЬИРУЕМЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ»

на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение)

Актуальность работы

На сегодняшний день к материалам, использующимся в авиастроении, предъявляются самые высокие требования. Материалы должны обладать, в зависимости от условий эксплуатации, необходимым комплексом служебных характеристик, предъявляемых к прочности, пластичности, коррозионной стойкости, плотности. К тому же для обеспечения конкурентоспособности авиационной техники материалы должны иметь невысокую стоимость. Традиционные материалы не удовлетворяют требованиям, предъявляемым конструкторами к разрабатываемым современным авиационным конструкциям, поэтому поиск подходов к разработке новых композиционных материалов и получению изделий из них является актуальной темой, особенно при производстве самолетов новых поколений.

Основной целью данной работы является разработка научно-технологических основ получения и создание слоистых алюмостеклопластиков нового поколения с улучшенными физико-механическими свойствами на основе листов из алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности для достижения требуемых прочностных характеристик и снижения массы авиационной техники.

Для достижения указанной цели автор диссертации последовательно и методично решал ряд важных задач, в том числе:

- оптимизация структурно-фазового состояния алюминий-литиевого сплава 1441 с массовыми соотношениями основных легирующих элементов: Cu/Li ≈ 1 (0,8–1,1), Mg/Li ≈ 0,5 (0,35–0,6) при суммарном легировании этими элементами 4,1–5,0% (по массе) путем варьирования температурно-временных параметров режимов гомогенизирующего отжига слитков и искусственного старения листов;

- разработка режима гомогенизации, обеспечивающего повышение технологической пластичности слитков для изготовления тонких листов из сплава 1441;

- исследование влияния технологических параметров изготовления на механические и коррозионные свойства листов из алюминий-литиевого сплава 1441;

- разработка режимов изготовления листов толщиной 0,25 мм из алюминий-литиевого сплава 1441, параметров многоступенчатой упрочняющей термической обработки и подготовки поверхности листов для их применения в слоистых алюмостеклопластиках;

- разработка слоистых алюмостеклопластиков на основе листов из алюминий-литиевых сплавов и исследование влияния их строения на плотность, характеристики прочности, трещиностойкости, технологичности, огнестойкости и молниестойкости;

- разработка математической модели расчета механических характеристик слоистых алюмостеклопластиков;

- повышение служебных характеристик слоистых алюмостеклопластиков за счет применения высокопрочного клеевого связующего с улучшенными адгезионными характеристиками;

- исследование изменения свойств алюмостеклопластиков после испытаний в натурных климатических условиях;

- разработка технологических режимов изготовления конструктивно-подобных образцов на основе алюмостеклопластиков;

- проведение испытаний и сравнительного анализа прочностных и ресурсных характеристик конструктивно-подобных образцов из традиционных алюминиевых сплавов и слоистых металлополимерных материалов;

- разработка методики испытаний и определение огнестойкости и огненепроницаемости слоистых алюмостеклопластиков;

- разработка нормативной документации применительно к слоистым алюмостеклопластикам нового поколения на основе листов из алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности.

В диссертационной работе Антипова В.В. решается проблема разработки научно-технологических основ создания слоистых алюмостеклопластиков нового поколения с варьируемыми физико-механическими свойствами на основе листов из алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности и стеклопластиков с применением клеевых препрегов. Тема диссертации является актуальной, имеет научное и практическое значение для отечественного авиастроения.

Анализ диссертации по главам

Первая глава рассматриваемой работы посвящена описанию общего состояния и перспектив развития материалов для авиастроения. Автором работы проведен широкий обзор отечественной и зарубежной литературы по конструкционным материалам для изготовления деталей планера самолета. Особое внимание уделено перспективным высокомодульным алюминий-литиевым сплавам пониженной плотности. Рассмотрены результаты исследований слоистых композиционных материалов с использованием металлических и полимерных слоев: отечественных АЛОР, АЛКАР, СИАЛ и

зарубежных ARALL, CARALL, GLARE, которые обеспечивают повышенные характеристики усталости и весовой отдачи конструкций из листовых полуфабрикатов (верхние зоны обшивок фюзеляжа и панелей крыла, элементы конструкции гермошпангоута, соединительные ленты отсека фюзеляжа и т.п.). Проанализированы достоинства и недостатки высокопрочных, ресурсных алюминиевых и алюминий-литиевых сплавов, металлополимерных слоистых материалов применительно к изготовлению деталей планера самолета.

Показано, что применение слоистых алюмостеклопластиков нового поколения на основе алюминий-литиевых сплавов и стеклопластиков для изготовления деталей позволит дополнительно повысить весовую эффективность, прочностные и ресурсные характеристики авиационных конструкций.

Во второй главе работы описаны методики проведения экспериментальных работ. В данной методике приведены основное оборудование и методы определения различных параметров, используемых в работе в качестве основных аргументов, в т.ч. оптической и электронной микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии, микрорентгеноспектрального анализа, методы определения комплекса механических свойств, испытаний на коррозионную стойкость, методики оценки огнестойкости и огненепроницаемости слоистых материалов, определения реологических характеристик связующих и т.д. Приведена методика статистической обработки полученных результатов испытаний.

Все исследования в работе проведены с использованием сертифицированного оборудования в соответствии с действующими стандартами РФ.

В третьей главе представлены результаты исследований и оптимизации структурно-фазового состояния алюминий-литиевого сплава 1441, приведена разработка режима двухступенчатого гомогенизирующего отжига слитков и трехступенчатого режима упрочняющей термической обработки листов. Также приведены и обоснованы результаты исследования влияния технологических параметров на физико-механические свойства листов из сплава 1441 для обеспечения стабильных механических и коррозионных характеристик металлических слоев в материале СИАЛ. По результатам проведенных исследований была разработана технология, позволяющая впервые в мире изготавливать тонкие листы толщиной 0,25 мм из алюминий-литиевого сплава 1441 методом рулонной прокатки для дальнейшего их использования в структуре слоистого алюмостеклопластика. Приведены данные исследования влияния нагревов при изготовлении алюмостеклопластиков на структуру и механические свойства листов из алюминий-литиевых сплавов 1441 и В-1469.

В четвертой главе представлена разработка более 20 структур алюмостеклопластиков с различными схемами армирования на базе алюминий-литиевых сплавов и клеевых препрегов, армированных стекловолокном. Разработана аналитическая математическая модель для прогнозирования свойств слоистых материалов, проведены расчеты механических характеристик (E, σ_B, $\sigma_{0,2}$, δ) для композиций

алюмостеклопластиков с применением листов из алюминий-литиевых сплавов 1441 и В-1469. При расчетах учтены остаточные напряжения в слоистых материалах, возникающие в процессе технологического изготовления заготовок при воздействии температур формования и последующего их охлаждения. Выполнено моделирование структур слоистых алюмостеклопластиков с применением разработанной математической модели.

Сопоставлены результаты расчетов механических (E, σ_B, $\sigma_{0,2}$, δ) характеристик слоистых композитов с помощью аналитической математической модели с экспериментальными данными по результатам испытаний образцов СИАЛ. Показано хорошее совпадение результатов расчетов и экспериментальных данных - в пределах 85–90 % точности). Для проведения аналитических расчетов был использован модифицированный вариант классической модели слоистого композита с учетом упругопластических свойств алюминий-литиевых сплавов по билинейному закону.

Разработана подготовка поверхности листов из алюминий-литиевых сплавов методом анодного оксидирования в комбинированном электролите, которая исключает использование в растворах токсичных соединений Cr^{6+} и обеспечивает повышение адгезионных характеристик соединений листов и стеклопластиков.

Обеспечен высокий уровень механических характеристик слоистых алюмостеклопластиков за счет применения клеевого связующего ВСК-14-2мР в клеевом препреге с ровингом.

Разработаны технологические режимы изготовления слоистых алюмостеклопластиков автоклавным методом, совмещающие процессы полимеризации связующего в клеевом препреге и формообразования криволинейной поверхности за один технологический цикл при изготовлении деталей. Разработан способ изготовления крупногабаритных элементов из алюмостеклопластиков методом сращивания.

Пятая глава посвящена исследованиям комплекса свойств слоистых алюмостеклопластиков.

Приведены результаты оценки механических характеристик при растяжении, сжатии и межслоевом сдвиге алюмостеклопластиков. Исследовано влияние структуры алюмостеклопластиков на характеристики трещиностойкости, изучен характер разрушения алюмостеклопластиков в зависимости от условий нагружения. Установлена зависимость скорости роста трещины усталости в слоистых материалах СИАЛ. СРТУ в алюмостеклопластиках на порядок ниже, чем в монолитных листах из алюминиевых сплавов типа Д16.

Показано, что уровень малоцикловой усталости алюмостеклопластиков зависит от укладки слоев стеклопластика и схем их армирования. Проведены фрактографические исследования алюминий-литиевых листов, входящих в состав слоистых материалов, и микроструктурный анализ материала.

Соискателем приводятся данные по молниестойкости СИАЛ. По результатам испытаний показано, что трехслойные алюмостеклопластики

толщиной 1,0–1,3 мм обеспечивают повышенную стойкость к удару молнии и эквивалентны по молниестойкости монолитным металлическим панелям толщиной 2,5 мм.

Показано, что в алюмостеклопластиках с различными типами клеевого препрега отсутствует сквозное прогорание при воздействии открытого пламени 15 мин и более. Огненепроницаемость материалов СИАЛ при 1100°С более чем в 10 раз выше по сравнению с листами из монолитных алюминиевых сплавов, что позволяет рекомендовать алюмостеклопластики для применения в пожароопасных зонах конструкции.

Достаточно высокие коррозионные свойства слоистых материалов подтверждены ускоренными испытаниями в камере солевого тумана, а также на открытых площадках климатических станций в условиях приморской зоны ГЦКИ и в условиях промышленной зоны МЦКИ. Приведены данные о влагопоглащении алюмостеклопластиков с различной структурой и схемой армирования. Показано, что при условии антикоррозионной защиты внешних поверхностей, торцев и отверстий под крепеж, в деталях из алюмостеклопластиков обеспечивается повышенная коррозионная стойкость.

Шестая глава посвящена исследованию влияния технологических процессов резки, сверления, гибки, клепки при изготовлении листовых заготовок и формообразовании конструктивных элементов на структуру и свойства алюмостеклопластиков, а также проектированию 3D модели и изготовлению конструктивно-подобных образцов из СИАЛ в условиях самолетостроительного объединения ПАО «ВАСО».

В седьмой главе представлены результаты опробования алюмостеклопластиков в деталях и конструктивно-подобных образцах, таких как, панель отсека фюзеляжа самолета с использованием обшивки из слоистого материала СИАЛ-3-1Р, фрагмент гибридной панели крыла самолета Ту-204 с обшивкой из алюмостеклопластика с использованием в структуре Al-Li сплава 1441, прототип створки капота двигателя вертолета Ка-226Т из огнестойкого слоистого материала СИАЛ-2-1Р.

Проведен сравнительный анализ весовой эффективности гибридных конструкций с обшивкой из слоистого материала с использованием листов и профилей из алюминий-литиевых сплавов 1441, В-1469 и монолитных панелей из плит сплава В95оч.

По результатам выполненных работ появляется возможность расширения применения перспективных слоистых алюмостеклопластиков в элементах конструкции планера самолета, таких как обшивки панелей отсеков фюзеляжа и панелей крыла, противопожарные перегородки, дублеры обшивок в зонах иллюминаторов, стыковочные ленты соединений отсеков, дублеры окантовок дверных проемов, обшивки агрегатов в зонах с повышенными требованиями по молниестойкости. Показана эффективность применения материалов СИАЛ за счет высоких показателей трещиностойкости, долговечности, огненепроницаемости и пониженной плотности.

В целом диссертационная работа Антипова В.В. производит благоприятное впечатление. Автором проведено достаточное исследование

проблемы, проанализированы разработанные ранее подходы и предложены направления для решения сформулированных цели и задач исследований. Каждый этап работы имеет четкую постановку задачи, методическое обеспечение, лабораторные исследования, полный анализ полученных результатов, выводы и разработку посылки для выполнения следующей стадии исследования. Результатом работы соискателя являются полезные и реализованные на практике рекомендации, модели и методики. Положительной чертой рассматриваемой работы является применение современных методик исследования структуры и свойств слоистых материалов, а также металлических и полимерных составляющих. Таким образом, исследование является законченной квалификационной работой в области материаловедения.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Научная новизна работы состоит:

- в разработке научно-технологических основ получения и создании слоистых алюмостеклопластиков СИАЛ нового поколения на основе листов из алюминий-литиевых сплавов и клеевых препрегов с ровингом, обладающих пониженной на 8-10 % плотностью, повышенными на 9-11 % модулем упругости, на 12–16 % удельной прочностью и рабочей температурой до 120°С по сравнению с алюмостеклопластиками на основе листов из дуралюминов;

- в установлении особенностей формирования структурно-фазового состояния в слитках и листах из алюминий-литиевого сплава 1441 в зависимости от режимов термической обработки, определении оптимальных технологических параметров, обеспечивающих получение методом холодной рулонной прокатки тонких листов толщиной 0,25 мм с требуемым для применения в СИАЛ уровнем механических и коррозионных свойств;

- в установлении оптимальной плотности распределения сферических композиционных частиц дисперсоидов (β′-фаза с оболочкой из δ′-фазы) не более $6{,}0 \cdot 10^{10}$ 1/мм^3 при минимальном (менее 1 %) содержании первичных эвтектических фаз в слитке, достигаемых после двухступенчатой гомогенизации в интервале температур 400–530 °С, при которых обеспечивается максимальная пластичность и низкое сопротивление деформации слитков из сплава 1441 с массовыми соотношениями основных легирующих элементов: Cu/Li ≈ 1 (0,8–1,1); Mg/Li ≈ 0,5 (0,35–0,6);

- в обнаружении различия состава дисперсоида в литой и деформированной структуре сплава 1441: в гомогенизированных слитках в состав β′-фазы входят Al и Zr, а в деформированных листах – Al, Zr и Ti, причем соотношение атомов Zr:Ti в частицах может составлять от 1:1 до 3:1;

- в установлении, что зависимости обеднения твердого раствора сплава 1441 магнием (от 0,8 до 0,22 % (по массе)) и медью (от 1,5 до 0,01 % (по массе)) за счет выделения в процессе медленного охлаждения с температуры смягчающего отжига 420–440 °С частиц S-фазы (Al_2CuMg),

преимущественно глобулярной формы со средним размером 0,5 мкм, приводящего к возрастанию технологической пластичности, снижению сопротивления и повышению однородности деформации, которые обеспечивают получение методом холодной рулонной прокатки листов толщиной до 0,25 мм;

- в установлении взаимосвязи между характером распределения упрочняющих частиц S- и S′-фаз в структуре искусственно состаренных листов из сплава 1441 и их коррозионными свойствами. В выявлении, что снижение склонности к расслаивающей коррозии листов из сплава 1441 обусловлено формированием в процессе трехступенчатого режима старения частиц S′-фазы, закрепляющих дислокации в объеме зерен, дискретных глобулярных частиц S-фазы размером 100–300 нм на границах зерен, что способствует уменьшению электрохимической гетерогенности и снижению концентрации напряжений на границах зерен;

- в разработке математической модели расчета механических характеристик слоистых алюмостеклопластиков с учетом остаточных напряжений по границам слоев материалов с разными свойствами в структуре СИАЛ со сходимостью с экспериментальными данными 85 - 90 %;

- в установлении зависимости огненепроницаемости слоистых алюмостеклопластиков от применения клеевого связующего ВСК-14мР и армирующего наполнителя в виде стеклоровинга в полимерных слоях алюмостеклопластиков, которые создают условия для возникновения абляционного эффекта за счет образования парогазовых продуктов и коксования слоев в процессе термодеструкции, что сдерживает прогорание СИАЛ при воздействии пламени с температурой 1100 °С в течение более 15 мин.

Достоверность и обоснованность основных научных положений, результатов, выводов и рекомендаций работы обусловлена воспроизводимостью и согласованностью полученных данных, применением современных средств исследования структуры и свойств материалов, большим набором материалов для исследований и значительным объемом исследовательских работ.

Практическая ценность работы состоит в том, что:

- разработаны и внедрены на самолетостроительном предприятии ПАО «ВАСО» технологии автоклавного формования алюмостеклопластиков нового поколения, а также гибридных конструкций с использованием СИАЛ на основе листов из алюминий-литиевых сплавов 1441, В-1469;

- разработаны и внедрены на ОАО «КУМЗ» режим двухступенчатой гомогенизации слитков алюминий-литиевого сплава 1441, повышающий пластичность материала при изготовлении методом рулонной прокатки листов толщиной 0,25 мм, и режим упрочняющей термической обработки (трехступенчатый режим старения) для применения тонких листов в структуре алюмостеклопластиков;

- уточнен химический состав комбинированного электролита для подготовки поверхности листов из алюминий-литиевых сплавов методом анодного оксидирования, применение которого исключает использование в

растворах токсичных соединений Cr^{6+} и обеспечивает повышение в 1,5 раза коррозионной стойкости и на 8–14 % адгезионных характеристик соединений листов и стеклопластиков;

- внедрено клеевое связующее с повышенными деформационными, теплопрочностными характеристиками и пониженной динамической вязкостью, которое обеспечивает равномерную пропитку стеклонаполнителя и позволяет исключить процесс нанесения клеевой пленки между слоями СИАЛ, применяемый при изготовлении алюмостеклопластиков за рубежом;

- подтверждена комплексом испытаний эффективность применения слоистых алюмостеклопластиков СИАЛ в пожароопасных зонах, что обусловлено увеличением в 10–15 раз времени прогорания конструкции при пожаре по сравнению с листами из алюминиевых сплавов, поскольку огненепроницаемость СИАЛ при 1100 °С составляет не менее 15 мин, а также улучшением молниестойкости;

- применение разработанных СИАЛ марок СИАЛ-1-1Р, СИАЛ-3-1Р и гибридных конструкций на их основе обеспечило снижение массы на 9–15 %, а также повышение трещиностойкости в 10 раз по сравнению с традиционными алюминиевыми сплавами, усталостной долговечности панели с обшивкой из СИАЛ в 2 раза по сравнению с панелью фюзеляжа из сплава 1163Т, несущей способности при сжатии панели с обшивкой из СИАЛ на 20 % по сравнению с панелью центроплана из сплава В95очТ2, что подтверждено испытаниями конструктивно-подобных образцов;

- разработана нормативная документация на изготовление, поставку, применение и конструирование деталей из слоистых алюмостеклопластиков, методики испытаний стандартных и конструктивно-подобных образцов (ТУ – 7 шт., ТР –18 шт., ТИ –3 шт., ММ –1 шт., СТО –1 шт.).

Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка используемых сокращений и обозначений, списка литературы, перечня разработанной нормативной документации и включает 327 страниц машинописного текста, 129 рисунков, 62 таблицы, 229 литературных источников. Результаты работы обсуждались на 18 международных и всероссийских научных конференциях и в достаточной мере освещены в 51 опубликованной работе, в том числе 46 публикаций в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 10 статей в журналах, входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of Science. Соискатель является соавтором девяти патентов на изобретения.

В тексте диссертации выявлены единичные опечатки, но они не затрудняют понимания текста работы. Работа характеризуется аккуратностью оформления текста диссертации и автореферата, применением цветной печати для представления рисунков, отличным качеством представления результатов различных исследований, что создает благоприятное отношение к работе в целом. К достоинствам работы следует отнести большой объем и высокое качество металлографических исследований и исследования свойств материалов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты работы Антипова В.В. могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях, а также на предприятиях, специализирующихся на изготовлении деталей и элементов конструкций из металлополимерных композиционных материалов.

Замечания по диссертационной работе

На основании рассмотрения диссертационной работы можно сделать следующие замечания:

1. В четвертой главе на стр. 156 упоминается про обозначение маркировок материалов СИАЛ, однако пояснение представлено не на все цифровые коды, что затрудняет понимание и чтение марок СИАЛ;
2. Из текста диссертации неясно, нашел ли свое применение за рубежом или в России слоистый металлополимерный материал 1441-GLARE, описание и свойства которого представлены в четвертой главе;
3. В диссертации в таблице 7.7 (стр. 259) приведены характеристики материалов для обшивок панелей крыла. Включенная в данную таблицу «нагрузка потери устойчивости» является параметром конструкции образца, и не является свойством материала;
4. Следует отметить, что экспериментальные результаты были получены на относительно небольших конструктивно-подобных образцах, что не в полной мере отражает реальные условия работы панелей в составе крыла и фюзеляжа; следует подтвердить полученные результаты на фрагментах деталей, более приближенных к реальным габаритам, параметрам нагружения и граничным условиям (это замечание относится к дальнейшему развитию работы и возможности применения разработанных алюмостеклопластиков в конструкциях);
5. Список литературных источников содержит недостаточно работ за последние 5 лет, да, и те, в основном, относятся к работам автора;

Указанные отдельные замечания не снижают ценность диссертации и не относятся к научным и практическим результатам, а также основным положениям работы.

Заключение

Диссертационная работа Антипова В.В. является актуальной, полученные результаты можно классифицировать как новые и обоснованные на современном научном уровне, они имеют существенное научное и практическое значение, описывают законченный этап исследований. В работе представлен путь решения актуальной задачи, начиная от теоретических исследований до практической реализации производства элементов и деталей из слоистых алюмостеклопластиков с использованием алюминий-литиевых листов пониженной плотности. Применение новых разработанных материалов взамен монолитных алюминиевых сплавов

обеспечивает значительные преимущества по весовой эффективности и механическим свойствам.

Материалы диссертации представлены в виде технически-грамотно оформленной структурированной рукописи, автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Основные результаты исследований освещены в достаточном объеме в научных статьях, опубликованных в рецензируемых изданиях. Достоверность теоретических исследований полностью подтверждается экспериментальными результатами.

Диссертационная работа соответствует требованиям формулы специальности и пунктам 1, 2, 4-6, 8, 9 области исследований специальности 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)».

По объему проведенных исследований, их актуальности, научной новизне и практической значимости, достоверности полученных результатов и качеству оформления данная диссертационная работа полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., поскольку представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой с применением современных методов решена серьезная научно-техническая проблема создания слоистых алюмостеклопластиков нового поколения с варьируемыми физико-механическими свойствами под требования конкретной авиационной конструкции с целью снижения массы и повышения прочностных и ресурсных характеристик, а ее автор, Антипов Владислав Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.09 - «Материаловедение (машиностроение)».

Официальный оппонент,
Начальник Научно-исследоват
комплекса ФГУП «ЦАГИ», до ских
наук, профессор Ковалев Игорь Евгеньевич
"17" 03. 2021г.

Подпись Ковалева Игоря Евге еряю

Ученый секретарь Ученого со
«ЦАГИ», доцент, доктор технических наук С.А. Таковицкий

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е.Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ»).
Почтовый адрес: 140180, Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, 1.
Телефон: +7 (495) 556 40 03.
E-mail:*Kovalev@tsagi.ru.*