

В диссертационный совет 24.2.340.04  
при ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский Нижегородский  
государственный университет им. Н.И.  
Лобачевского»

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Пермина Дмитрия Алексеевича  
«Наноконпозиционные керамические материалы на основе оксидов магния и  
редкоземельных элементов для инфракрасной техники» представленную на  
соискание ученой степени доктора химических наук по специальности  
1.4.1. – Неорганическая химия

### 1. Актуальность темы исследования

Разработка новых материалов для использования в инфракрасной технике не теряет актуальности, несмотря на относительно долгий срок исследований в этой области знаний. Особое внимание традиционно уделяется материалам, эксплуатация которых предполагается в условиях экстремальных температур и высоких механических нагрузок, что обуславливает ряд требований к их свойствам. Кроме прозрачности, в том числе при повышенных температурах, целевыми характеристиками также являются высокая микротвёрдость и теплопроводность. Широкое применение для таких целей получили керамические материалы ( $MgAl_2O_4$ ,  $AlON$ ,  $Y_2O_3$  и др.). Благодаря поликристаллической структуре они существенно превосходят по многим физико-механическим свойствам (термостойкость, механическая прочность и др.) стёкла и в ряде случаев монокристаллы, а широкие возможности керамической технологии в изготовлении оптических элементов больших размеров и сложной формы определяют экономическую эффективность их производства. Тем не менее, номенклатура потенциальных оптических керамик ограничена, а свойства известных материалов изучены и практически исчерпаны. В связи с этим, тема разработки новых композиционных материалов на основе оксидов магния и редкоземельных элементов для инфракрасной техники представляет значительный интерес.

### 2. Общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, выводов, приложения и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 250

страницах машинописного текста, включая 102 рисунка, 31 таблицу и библиографию из 259 наименований.

**Во введении** представлена актуальность диссертационного исследования, сформулирована цель и поставлены задачи. Описана научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснована степень достоверности полученных результатов, приведены сведения об апробации и реализации результатов диссертационной работы. Приведена общая информация о работе, а также её соответствие паспорту специальности 1.4.1. – Неорганическая химия.

**Первая глава** посвящена литературному обзору существующих материалов для ближнего и средневолнового инфракрасного диапазона. Рассмотрены основные классы материалов (стеклофазные, керамические и монокристаллические), используемые на сегодняшний день, приведены их основные свойства, достоинства и недостатки. Обоснован выбор нанокпозиционных материалов  $RE_2O_3 - MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu, Dy$ ) для дальнейшего исследования. Для данного класса материалов подробно рассмотрены последние достижения науки и техники, включая существующую информацию о фазовых диаграммах оксид магния – оксид РЗЭ, физико-технические характеристики, основные подходы к получению и достигнутые оптические и механические свойства.

**Во второй главе** приведено описание методов, оборудования и подходов, которые были использованы автором в ходе выполнения диссертационного исследования. В частности приводится описание исходных материалов, условий проведения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и исследования свойств высокодисперсных композитных порошков  $RE_2O_3 - MgO$ . Далее подробно описано оборудование и параметры консолидации, а также методы контроля основных оптических, механических и теплофизических свойств получаемых композиционных материалов. Подробное описание технологических режимов, используемых подходов и принципов проведения исследования, позволяет в полной мере оценить ход выполнения эксперимента, что важно при разработке новых материалов.

**В третьей главе** рассмотрены физико-химические закономерности процессов, протекающих при СВС порошков  $RE_2O_3 - MgO$ . Для этого проведён синхронный термоанализ разложения прекурсоров и их компонентов (окислителя и горючего), а также определено влияние состава реакционной системы на адиабатическую температуру синтеза и установлен равновесный состав продуктов взаимодействия окислителя и горючего. На основании полученных данных сделан вывод о том, что наиболее интенсивное и отвечающее условиям СВС взаимодействие в прекурсором наблюдается при использовании глицина в качестве горючего, обосновано

использование прекурсоров состава  $\varphi(Y(NO_3)_3 - Mg(NO_3)_2) - (1 - \varphi)NH_2CH_2COOH$  следует считать диапазон  $\varphi = 0,15 - 0,25$ .

**Четвертая глава** посвящена результатам комплексного исследования морфологических и структурных свойств порошков  $RE_2O_3 - MgO$  ( $RE = Y, Sc, Lu, Gd$ ). Морфология продукта синтеза подробно исследована методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Получаемые порошки характеризуются наличием рыхлых агломератов с пористой структурой, состоящей из равномерно распределённых равноосных частиц размером порядка 50 нм. Рассчитанный методом БЭТ средний эквивалентный диаметр находится на уровне 40 – 60 нм и не зависит от оксида РЗЭ-основы. Согласно методу РФА, синтезированные порошки  $RE_2O_3 - MgO$  имеют композитную природу и по кристаллической структуре соответствуют целевым материалам. В отличие от порошков  $RE_2O_3 - MgO$  ( $RE = Y, Lu, Sc, Dy$ ), фазовый состав которых не изменяется при термической обработке, для  $Gd_2O_3 - MgO$  при температуре 1300 °С наблюдается частичное превращение кубической фазы оксида гадолиния в моноклинную. Особое внимание диссертантом уделено исследованию содержания в полученных порошках примесей методами ИСП-МС и ИК-спектроскопии. В заключении на основании совокупности структурных и морфологических свойств, сделан вывод о соответствии СВС-порошков  $RE_2O_3 - MgO$  требованиям для получения оптической керамики.

**Пятая глава** посвящена выбору метода консолидации керамики  $Y_2O_3 - MgO$ . Для решения этой задачи диссертантом были выбраны микроволновое вакуумное спекание, электроимпульсное плазменное спекание (ЭИПС) и горячее прессование (ГП). Для всех трех подходов на основании дилатометрического анализа установлен температурный интервал усадки, отражающей протекание процесса спекания. Проведено исследование микроструктуры и оптических свойств керамик в зависимости от температурного режима консолидации. Показано, что горячее прессование и ЭИПС  $Y_2O_3 - MgO$  протекают по схожим закономерностям и позволяют сформировать плотную микроструктуру керамики при сохранении среднего размера зёрен ~ 200 нм и достичь уровня пропускания материалов ~ 80 % в средней ИК-области. Наибольшая производительность обеспечивается при использовании метода электроимпульсного плазменного спекания за счёт высоких скоростей нагрева и специфики воздействия электрических полей на уплотняемый компакт. Однако интенсивный нагрев приводит к образованию закрытой пористости до полного удаления адсорбированных газов с поверхности нанопорошков, что затрудняет создание композита с однородной микроструктурой (это подтверждаются данными плотности). Оптическое пропускание композитов, полученных микроволновым спеканием ниже по сравнению с методами, использующими приложение внешнего давления.

Однако отсутствие ряда полос поглощения, которые неизбежно присутствуют в керамиках  $Y_2O_3 - MgO$ , полученных методом горячего прессования или ЭИПС, свидетельствуют о возможном применении данного метода в совокупности с последующей баротермической обработкой. В заключении к главе сделан убедительный вывод о том, что метод горячего прессования позволяет наилучшим образом сформировать требуемую плотную мелкозернистую структуру спекаемого компакта.

**Шестая глава** посвящена оптимизации подготовки исходных порошков и условий горячего прессования керамики  $Y_2O_3 - MgO$ , установлению взаимосвязи состава материалов с их микроструктурой и оптическими свойствами, а также. Прежде всего было исследовано влияние соотношения макрокомпонентов и примесного состава на микроструктуру и оптическое пропускание керамики  $Y_2O_3 - MgO$ . Показано, что композиционная структура материала способствует стагнации роста зёрен при спекании, что обеспечивает выигрыш в механических свойствах относительно однофазных керамик индивидуальных оксидов иттрия и магния при сохранении высокого уровня прозрачности в среднем инфракрасном диапазоне. Кроме этого установлено, что только реактивы высокой степени чистоты (ХЧ и ОСЧ) обеспечивают высокий уровень пропускания керамики в ближнем ИК-диапазоне. Более того, деагломерация СВС-порошков, выполненная помолом в планетарной мельнице, улучшает однородность смеси компонентов, что замедляет рост зёрен в композитах при спекании и позволяет существенно снизить температуру формирования плотного материала ( $\sim$  на 100 °С). Эффективность использованных методов подтверждается увеличением оптического пропускания керамик  $Y_2O_3 - MgO$  практически в два раза (от 40 % до 78 % на длине волны 2 мкм) при использовании деагломерированных порошков.

В седьмой главе представлены результаты спекания и свойства керамик  $RE_2O_3 - MgO$  с другими оксидами РЗЭ. В первой части приведены результаты сравнительного исследования свойств керамик  $Gd_2O_3 - MgO$  и  $Y_2O_3 - MgO$  полученных в максимально близких условиях. Вопреки ранее опубликованным данным других авторов, установлено, что керамика на основе оксида гадолиния уступает по ряду свойств композиту  $Y_2O_3 - MgO$ .

Далее приведены сведения о получении серии образцов композиционных керамик  $RE_2O_3 - MgO$  ( $RE = Y, Sc, Lu, Gd$ ), легированных ионами  $Ho^{3+}$ ,  $Er^{3+}$  и  $Tm^{3+}$  в свете их возможного применения в лазерной технике. В результате сравнительного исследования их механических, оптических и люминесцентных свойств сделан вывод о том, что наиболее перспективны для дальнейшей разработки люминесцентных материалов на основе  $Ho^{3+} : Y_2O_3 - MgO$  и  $Ho^{3+} : Lu_2O_3 - MgO$ . Более того, обнаружено существование интенсивной апконверсионной люминесценции в керамиках  $RE_2O_3 - MgO$  ( $RE = Y, Sc, Lu, Gd$ ) легированных ионами  $Ho$  и  $Yb/Er$ , что,

наряду с высокими механическими и теплофизическими свойствами, делает исследуемые материалы перспективными средами для изготовления визуализаторов лазерного ИК-излучения.

Кроме этого, проведено спекание магнитооптической керамики оксид диспрозия – оксид магния. Получены образцы керамики  $\text{Dy}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  с пропусканием близким к теоретическому значению для однофазной керамики  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  в диапазоне длин волн 2 – 9 мкм. По сравнению с известными керамическими материалами на основе оксида диспрозия, композит обладает в несколько раз более высокой теплопроводностью, в два раза большей трещиностойкостью и значительно более высокой микротвердостью.

**В восьмой главе** на основе современной модели рассеяния в концентрированных системах – интерференционного приближения (модель ИТА) – проведена оценка коротковолновой границы пропускания и спектра пропускания композитов  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  с учётом эффектов взаимного влияния зёрен на межзёренное рассеяние. Осуществлена верификация использованного подхода сравнением с экспериментально измеренными спектрами пропускания керамик  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ . В результате получена значительно более близкая к наблюдаемой на практике картина межзёренного рассеяния композита по сравнению с прогнозом в традиционной модели независимых рассеивателей (модель ИНА). Впервые обнаружены эффекты «ультра-пропускания» и «аномального рассеяния» в оптической композитной керамике  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ . По данным расчётов сделан вывод, что достижение пропускания композитов  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  сравнимого с однофазными оксидами РЗЭ (~ 80 %) на длинах волн 1,5 – 2 мкм, возможно при ограничении среднего размера зёрен 100 – 150 нм.

### 3. Научная новизна диссертационной работы

Расширена номенклатура ИК-прозрачных композиционных материалов: синтезировано более 20 новых композитов  $\text{RE}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  ( $\text{RE} = \text{Y}, \text{Gd}, \text{Sc}, \text{Lu}, \text{Dy}$ ) на основе индивидуальных оксидов РЗЭ и их твердых растворов, для которых определены фазовый состав, механические и оптические свойства.

Впервые выполнено термодинамическое исследование реакционных систем «нитрат металла – органическое горючее» для прогнозирования состава продуктов и условий самораспространяющегося высокотемпературного синтеза оксидов РЗЭ и композита  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ .

Проведена оценка влияния чистоты исходных соединений на примесный состав и оптическое пропускание керамики  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  в инфракрасном диапазоне.

Впервые синтезированы и исследованы люминесцентные свойства композитов  $\text{RE}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  ( $\text{RE} = \text{Y}, \text{Gd}, \text{Sc}, \text{Lu}$ ), легированных ионами  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ ,  $\text{Yb}^{3+}$ ; в материалах с  $\text{Ho}^{3+}$  и солегированных  $\text{Er}^{3+} / \text{Yb}^{3+}$

выявлена интенсивная анти-стоксова люминесценция, что позволяет использовать эти композиционные керамики как визуализаторы ИК-излучения.

Сравнительно исследованы процессы консолидации и формирования зеренной структуры керамики  $Y_2O_3$ – $MgO$  методами электроимпульсного плазменного спекания, горячего прессования и микроволнового свободного спекания, установлены условия плотной микроструктуры, температурный интервал усадки и особенности спектров оптических потерь, зависящие от метода спекания.

Наконец, оценена граница коротковолнового края пропускания и спектральный характер потерь на рассеяние композитов  $Y_2O_3$ – $MgO$  с учетом эффектов взаимного влияния фаз (интерференционное просветление и аномальное рассеяние), что обеспечило значительно более точную модель межзеренного рассеяния по сравнению с ранее использованной моделью независимых рассеивателей.

В работе есть классическое понимание вопросов загрязнения продуктов синтеза углеродом при существенном превышении количества горючего сверх стехиометрического. Есть понимание вопросов управления адиабатической температурой горения и укрупнения наночастиц продуктов. Все подобные выводы подчеркиваются представлениями в области растворного горения (solution combustion synthesis).

#### 4. Практическая ценность и реализация результатов

На основе комплексного исследования свойств СВС-порошков  $RE_2O_3$ – $MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu, Dy$ ), согласованного с термодинамическим анализом реакционных систем, даны рекомендации по выбору прекурсоров синтеза для обеспечения высокой дисперсности и минимальной агломерации порошков. Разработаны методики и экспериментальные условия получения плотных композиционных керамик  $RE_2O_3$ – $MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu, Dy$ ) с пропусканием в средневолновом ИК-диапазоне на уровне монокристаллов  $MgO$  и оксидов РЗЭ. Анализ спектров пропускания и дисперсионных данных позволил разработать методику идентификации межзеренного рассеяния ( $MgO/RE_2O_3$ ) и рассеяния на дефектах, выделяющую их вклады в общие оптические потери. На базе композитов  $RE_2O_3$ – $MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu$ ), легированных  $Er^{3+}/Yb^{3+}$  и  $Ho^{3+}$ , созданы визуализаторы ближнего ИК-лазерного излучения с порогом лазерного пробоя  $>4$  кВт/см<sup>2</sup> для непрерывного излучения на 1 мкм и до 8,5 МВт/см<sup>2</sup> для импульсов на 1,94 мкм. В керамике  $Dy_2O_3$ – $MgO$  реализован магнитооптический эффект вращения плоскости поляризации; сравнение механических и теплофизических свойств подтверждает перспективность этих композитов для изоляторов и вращателей Фарадея.

## **5. Степень достоверности и апробация результатов, рекомендации по использованию результатов работы**

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается высоким уровнем научного оборудования, применявшегося в экспериментах, современными физико-химическими методами исследования (электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, атомная спектроскопия и др.), воспроизводимостью и согласованностью данных, регистрируемых с помощью независимых методов, а также применением устоявшихся в мировой научной практике методик и теоретических положений при анализе и интерпретации результатов.

Полученные в диссертационной работе материалы прошли серьёзную апробацию в отечественных и зарубежных изданиях в области неорганического синтеза и технологии функциональной керамики (J. Am. Ceram. Soc., Ceram. Int., Materials, Nanomaterials и др.), современных проблем оптического материаловедения и инфракрасной оптики (Laser Phys. Lett., Optical Materials и др.). По результатам работы автором опубликовано 20 статей в ведущих рецензируемых иностранных и российских журналах из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, индексируемых Web of Science и Scopus, получен патент на изобретение Российской Федерации. Кроме того, результаты работы были неоднократно представлены на ведущих всероссийских и международных профильных конференциях.

Полученные результаты диссертационной работы можно рекомендовать образовательным и научно-исследовательским университетам, отделениям Российской академии наук, предприятиям АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова», ООО «Мелситек», РФЯЦ ВНИИЭФ, ООО «Лазеруан» и другим предприятиям Российской Федерации.

## **6. Основные замечания и вопросы по диссертации**

1. Стр. 76. Как быть с уносом частиц при ТГА? Часто съёмка подобных высокоэнергетических смесей (с горючим) может приводить к выбросу образца из тигля (даже при наличии крышки).

2. Стр. 98. «...ацетат иттрия полностью дегидратируется при 160 °С согласно реакции (33)....На термограмме это отражено в сдвоенном эндотермическом пике с минимумами при температурах 125,5 и 135,5 °С, а также пиком при 171,9 °С.». Если посмотреть на ТГ/ДСК-кривые (рисунок 17) водного ацетата иттрия, то можно сказать, что пик при 171,9°С – это скорее артефакт. Действительно на ДСК-кривой он присутствует, но потери массы по ТГ-кривой нет. Поэтому, вероятнее всего, данный пик – артефакт

(наиболее вероятно), либо относится к процессу, который проходит без потери массы (вероятность мала).

3. Стр. 105. Рис. 23. Классические публикации по растворному горению приводят расчеты адиабатической температуры горения от  $\phi$ , в которых максимальная температура достигается при стехиометрическом  $\phi=1,0$  (горючее:окислитель). Непонятно, с чем связана природа максимумов температуры реакции, где  $\phi<1,0$ . Скорее здесь приведены отношения составов двухкомпонентной смеси  $x$ , например  $(x)\text{Sc}(\text{NO}_3)_3-(1-x)\text{Sc}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_3$ .

5. Стр. 109. «При отклонении параметра  $\phi$  в меньшую сторону от стехиометрического значения в равновесных продуктах реакции появляется монооксид углерода и метан (см. рисунок 25б), что увеличивает вероятность загрязнения конечного продукта углеродом.». Хотелось бы найти подтверждение этому микроскопически. Можно ли наблюдать данный углерод с помощью ПЭМ-микроскопии? Есть ли у него морфология частиц сажи?

6. Стр. 118. В таблице 10 указано, что теоретическая плотность ( $\rho(\text{РФА})$ ) при повышении температуры прокали/отжига для фазы  $\text{Y}_2\text{O}_3$  растет, а для фазы  $\text{MgO}$  падает (после СВС –  $3,532 \text{ г/см}^3$ , после отжига при  $1100^\circ\text{C}$  –  $3,497 \text{ г/см}^3$ ). Не указана причина такого различия в поведении оксидов при отжиге.

7. Стр. 121. Указано, что фазовый переход для оксида гадолиния является обратимым: «По всей видимости, переход является обратимым и в условиях охлаждения в муфельной печи происходит обратное формирование кубического оксида гадолиния.». Наблюдается ли подобное явления при нагревании и последующем охлаждении пробы, например при ДСК-анализе?

8. Существуют некоторые опечатки, орфографические ошибки по тексту. Например

- Стр. 91 «ИК микроскопии» (отсутствует дефис между сокращением и словом).

- Стр. 98. Рисунок 17 «...тремического разложения».

- Стр. 99. Указано, что «В отличие от ацетата, нитрат иттрия при температуре  $160^\circ\text{C}$  теряет только молекулы воды [215] (36):



В уравнении потеряны три молекулы воды: в левой части их шесть, в правой – три.

- Стр.119-120. «...увеличение температуры прокаливания с  $800^\circ\text{C}$

до 1000 °С приводит к удвоению размера D(БЭТ) из-за соответствующего уменьшения удельной площади поверхности частиц.» Скорее здесь имелось в виду D(РФА), поскольку речь идет далее (таблица 11) именно об ОКР...

- Стр. 123. Подрисуночная подпись «Индексы Миллера для фазы MgO выделены красным цветом». На рисунке 36 не показано индексов Миллера.

Стр. 179-180. Есть некоторые замечания к теплофизической терминологии используемых величин. Например, коэффициент теплопроводности имеет общепринятое обозначение  $\lambda$ . Тепловое (термическое) сопротивление – это характерный размер, деленный на коэффициент теплопроводности (на стр. 179 указано как  $1/k$ , без учета характерного размера).

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают ее высокой ценности для данной отрасли науки.

## 7. Заключение

Работа Пермина Дмитрия Алексеевича по теме «Нанокomпозиционные керамические материалы на основе оксидов магния и редкоземельных элементов для инфракрасной техники» представляет собой целостную и завершенную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены фундаментальные основы технологии нового класса ИК-материалов – нанокomпозиционных керамик оксид магния – оксид редкоземельного элемента, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие технологического лидерства РФ, соответствует задачам импортозамещения и масштабирования отечественных технологий неорганических материалов (включая малотоннажную химию).

Приведенные результаты по разработке методик синтеза композиционных высокодисперсных особо чистых порошков  $RE_2O_3-MgO$  ( $RE = Y, Gd, Sc, Lu, Dy$ ), выбору метода и оптимизации технологических параметров получения на их основе композиционной керамики, комплексному исследованию взаимосвязи состава, эффектов наноструктурирования и свойств получаемых материалов полностью соответствует паспорту специальности 1.4.1. – Неорганическая химия в пунктах «фундаментальные основы получения объектов исследования неорганической химии и материалов на их основе» (пункт 1); «дизайн и синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с

заданными свойствами» (пункт 2); «взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений. Неорганические наноструктурированные материалы» (пункт 4). Диссертация логично построена. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают основное содержание диссертационной работы. Полученные оппонентом варианты диссертации и автореферата полностью совпадают с электронной версией, размещенной на сайте диссертационного совета при ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Число публикаций автора соответствует критериям п. 13 раздела II Положения.

По объему проведенных работ, актуальности, научной новизне и практической значимости, достоверности полученных результатов, а также личному вкладу автора диссертационная работа по теме «Наноконпозиционные керамические материалы на основе оксидов магния и редкоземельных элементов для инфракрасной техники» полностью соответствует критериям, установленным пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор Пермин Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени доктора химических наук по научной специальности 1.4.1. – Неорганическая химия.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией химической технологии функциональных материалов Новосибирского государственного технического университета, доцент, доктор химических наук (2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ)

Баннов Александр Георгиевич

10.03.2026

ПОДПИСЬ ЗАВЕР

Начальник отдела кадров  
ФГБОУ ВО НГТУ



С. Пустовалова

Контактные данные: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20, 5 корп., 222а, тлф: 8-383-346-08-01, e-mail: [bannov\\_a@mail.ru](mailto:bannov_a@mail.ru); [bannov@corp.nstu.ru](mailto:bannov@corp.nstu.ru).