

**РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА  
ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УЧЕБНО-  
МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УНИВЕРСИТЕТА  
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

**В.А. Немтинов, В.В. Юханов, Е.Н. Малыгин,  
С.В. Карпушкин, С.Я. Егоров, В.Г. Мокрозуб,  
А.Б. Борисенко, Ю.В. Немтинова**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический  
университет», г. Тамбов;  
ООО «Моршанскхиммаш», г. Моршанск, Тамбовская область*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор В.Е. Подольский*

**Ключевые слова и фразы:** виртуальная модель; информационные технологии; программно-аппаратный комплекс; университет химико-технологического профиля; учебно-материальные ресурсы.

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы создания виртуальной модели образовательных ресурсов выпускающей кафедры технического профиля, включающей ряд виртуальных лабораторий, соответствующих направлениям научных исследований сотрудников и основным направлениям подготовки специалистов, бакалавров и магистров.

Основой для разработки виртуальной модели учебно-материальных ресурсов послужили методы и алгоритмы создания виртуальных моделей промышленных объектов технических систем, разработанные коллективом авторов кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» Тамбовского государственного технического университета.

---

Немтинов Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», e-mail: nemtinov@mail.gaps.tstu.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов; Юханов Валерий Валентинович – генеральный директор ООО «Моршанскхиммаш», г. Моршанск, Тамбовская обл.; Малыгин Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; Карпушкин Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; Егоров Сергей Яковлевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; Мокрозуб Владимир Григорьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; Краснянский Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», проректор по научно-инновационной деятельности ТамбГТУ; Борисенко Андрей Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; Немтинова Юлия Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ТамбГТУ, г. Тамбов.

При разработке виртуальной модели используются базовые программные средства, позволяющие создать образы различных учебных и производственных ресурсов, по степени детализации максимально приближенные к реальным объектам.

На кафедре «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» (АПТО) ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ) разработан прототип виртуальной модели образовательных ресурсов выпускающей кафедры технического профиля, включающий ряд виртуальных лабораторий, соответствующих направлениям научных исследований сотрудников и основным направлениям подготовки специалистов, бакалавров и магистров:

- 3D-моделирования элементов и узлов технологического оборудования;
- виртуального моделирования промышленного оборудования и технологических комплексов;
- имитационного моделирования технологических комплексов;
- виртуальных тренажеров для обучения и тренинга операторов химико-технологических систем;
- виртуальных моделей территориально распределенных объектов.

Фрагмент виртуальной модели учебно-материальных ресурсов кафедры АПТО ТГТУ представлен на рисунке.

Основой для разработки виртуальной модели учебно-материальных ресурсов послужили следующие методы и алгоритмы создания виртуальных моделей промышленных объектов технических систем, разработанные авторами и подробно представленные в [1].

1. Состав и структура информационно-логической модели технического объекта, позволяющей по информации технического задания получать рабочую документацию на его создание или модификацию [2].

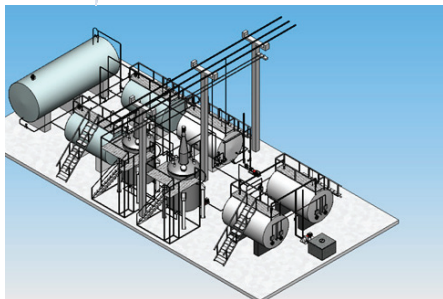
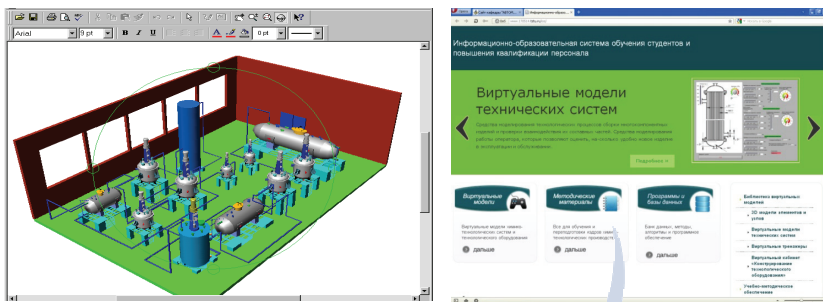
2. Формальное описание ER-диаграммы реестра возможных элементов технического объекта, модели определения его структуры и параметров элементов, модели позиционирования элементов объекта в пространстве [3].

3. Методология аппаратурного оформления (АО) многоассортиментных химических производств (МХП), включающая [4 – 7]:

- анализ комплекса свойств и особенностей функционирования оборудования реальных МХП, влияющих на организацию процессов выпуска продуктов и АО стадий технологической системы (ТС);

- математические постановки задачи оптимизации режима функционирования ТС и оборудования ее стадий, задач выбора АО стадий ТС, в которых впервые формализована разветвленная структура материальных потоков системы, возможности дробления/укрупнения партий продуктов на некоторых стадиях, совмещения операций загрузки/выгрузки партий с физико-химическими превращениями;

- постановки задач оптимизации параметров режима функционирования и коррекции характеристик оборудования стадий ТС действующего МХП при изменении плана выпуска продукции, впервые учитывающие



**Фрагмент схемы виртуальной модели учебно-материальных ресурсов кафедры АПТО ТГТУ.** Лаборатории: 1 – имитационного моделирования технологических комплексов; 2 – виртуального моделирования промышленного оборудования и технологических комплексов; 3 – 3D-моделирования элементов и узлов технологического оборудования; 4 – виртуальных тренажеров для обучения и тренинга операторов химико-технологических систем

возможности установки на стадиях параллельных аппаратов разных размеров и исполнений, реализации с помощью оборудования одной и той же аппаратной стадии ТС нескольких стадий синтеза одного и того же продукта;

– методику совместного решения задачи оптимизации параметров режима функционирования ТС проектируемого МХП и задачи выбора АО стадий системы, предусматривающую прогноз и итерационное уточнение числа основных аппаратов, необходимого для переработки партий продуктов на стадиях ТС, коэффициентов изменения размеров партий продуктов на стадиях и указателей способа их переработки;

– условия разрешимости задач (условия проектируемости ТС МХП), методику проверки и обеспечения их выполнения, предусматривающую участие эксперта (опытного технолога), применение которой позволяет выбирать оптимальные значения прогнозируемых параметров, существенно сокращать объем вычислений при решении задач;

– алгоритмы решения задач оптимизации параметров режима функционирования ТС и АО ее стадий, в том числе алгоритм оптимизации длительности циклов работы ТС при выпуске каждого продукта в условиях изменений размеров их партий;

– схему локальной оптимизации решений задач АО ХТС, предусматривающую последовательное увеличение числа основных аппаратов стадий, лимитирующих продолжительности циклов выпуска продуктов.

4. Примеры решения задач оптимизации параметров режима функционирования ТС реальных проектируемых и действующих производств, выбора АО их стадий, подтверждающие эффективность предложенной методики АО ТС проектируемых и действующих МХП.

5. Методология принятия проектных решений по компоновке промышленных объектов, основанная на принципах декомпозиции общей задачи компоновки на систему взаимосвязанных задач, постановки каждой задачи как экстремальной, разработки аналитических и процедурных моделей компоновки промышленных объектов, многоуровневого геометрического описания объектов компоновки и их визуализации на различных этапах принятия проектных решений. Методология включает [8]:

– концепции комплексного моделирования управления сложными системами;

– обобщенную аналитическую модель принятия проектных решений по компоновке МХП, которую отличает максимальный учет факторов, оказывающих влияние на принятие проектных решений по компоновке оборудования МХП, формализованная запись правил, требований и ограничений, которые должны быть выполнены при разработке проекта компоновки, возможность моделирования широкого круга задач по компоновке промышленных объектов, в частности задач размещения оборудования МХП и трассировки технологических трубопроводов;

– способ многоуровневой визуализации описания объектов компоновки в виде комплекса геометрических фигур с возможностью выделения подобъектов, условия пространственного размещения которых могут быть представлены в различных формах;

– методику решения задач компоновки, предусматривающую итерационное решение задач меньшей размерности, имеющих самостоятельное значение в процессе проектирования: выбора объемно-планировочных решений, размещения оборудования и трассировки трубопроводов в многоэтажных и ангарных цехах, расчета транспортно-трубопроводной системы выбора и размещения трубопроводной арматуры.

6. Автоматизированная информационная система компоновки промышленных объектов, разработанная на основе аналитических и процедурных моделей решения задач компоновки, размещения оборудования и трассировки технологических трубопроводов [9, 10].

7. Методика автоматизированного синтеза ТС на примере стадий водоподготовки систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий, основанная на использовании теории построения экспертных систем, которая позволяет оперативно выбирать из большого числа возможных вариантов ТС наиболее подходящий [7].

8. Методика представления структуры и свойств элементов технического объекта в едином информационном пространстве предприятия (спецификации классическая, групповая, с полем принадлежности и спецификация с взаимозаменяемыми деталями, основанная на применении гиперграфов и реляционной базы данных, которая включает [10, 11]:

- описание базы данных, предназначенной для хранения графовых структур с ограничениями на вершины и ребра, которую отличает поддержка ограничений на вершины и ребра ссылочной и доменной целостностью базы;

- применение N-ориентированных гиперграфов для структурного и параметрического синтеза технических объектов на основе продукционных правил;

- классификацию правил синтеза технических объектов, способы их хранения и обработки в реляционной базе данных.

9. Подход к построению экспериментально-аналитических моделей объектов из класса открытых стохастических систем, информация о поведении которых носит неопределенный характер из-за отсутствия достаточного количества систематических и надежных данных.

10. Методика применения системы SIMUL8 для создания имитационной модели химико-технологической системы, реализующей выпуск продукции в соответствии с календарным планом и производственным технологическим регламентом. С помощью этой модели пользователь может прогнозировать различные ситуации и своевременно принимать меры в целях эффективного использования технологического оборудования [12 – 14].

11. Методика разработки виртуальных тренажеров для обучения студентов, тренинга персонала технических систем, включающая [15 – 18]:

- математические модели деятельности операторов технических систем в штатных и аварийных ситуациях;

- постановку задач проектирования тренажерного комплекса операторов технической системы;

- функциональную модель обучения оператора технической системы;

- алгоритм проектирования виртуального тренажерного комплекса, представленный в виде функциональных диаграмм в нотации IDEF0;

- интерфейс виртуального пульта управления технической системы.

12. Информационная модель объекта технической системы, представленная в виде графовой структуры фреймов и включающая сведения о составе, свойствах системы и ее элементов, а также способах задания значений этих свойств, позволяющая специалисту систематизировать всю информацию о реальном объекте, упорядочить ее хранение на электронных носителях и обеспечить эффективную обработку [19 – 22].

13. Инструментальные средства, используемые при разработке цифровой пространственной модели территории химического предприятия, включающей:

- графические векторные и растровые изображения объектов различного назначения со степенью детализации, достаточной для их визуальной идентификации;

- элементы оборудования инженерных коммуникаций;

- базы атрибутивных данных для хранения символьной и цифровой информации об объектах модели, обеспечивающей реализацию механизма транзакций с использованием топологических взаимоотношений, которая использована авторами для визуализации единого информационного пространства и моделирования экономических и технологических процессов, протекающих в объектах предприятия.

14. Процедурная модель автоматизированного выбора элемента технической системы, реализованная в виде пакета программ на примере трубопроводной запорной арматуры для водопроводных и тепловых сетей, позволяющая потребителю выбрать оптимальный вариант выбора с учетом различных требований и экспертных оценок потребительско-эксплуатационных показателей элемента системы, выполненных разными группами специалистов [19].

Методика использования типовых программных сред для создания виртуальных моделей промышленных объектов, а также собственные разработки авторов, входящие в состав учебно-материальных ресурсов виртуальных лабораторий, представлены в работах [20 – 23]. К числу собственных разработок относятся:

- структура и программное обеспечение лаборатории 3D-моделирования элементов и узлов технологического оборудования, которую отличает наличие таксономии предметной области, что позволяет подбирать типовые элементы оборудования в зависимости от условий эксплуатации, определенных техническим заданием на проектирование объекта [24 – 26];

- алгоритм обработки таксономии средствами Transact-SQL;

- пакеты программ расчетов основного и вспомогательного оборудования ТС МХП;

- пакет программ для разработки виртуальных моделей объемно-планировочного решения по расположению оборудования и трасс технологических трубопроводов в производственных помещениях [27];

- 3D-модели типовых элементов емкостного оборудования (перемешивающие устройства, фланцы, мотор-редукторы, опоры, строповые устройства и др.);

- 3D-модели пресс-форм для вулканизации резинотехнических изделий, а также систем «нагревательные плиты – пресс-форма – изделие», которые используются при решении задач оптимального проектирования нагревательных плит вулканизационных прессов;

- 3D-модели трубопроводной арматуры: запорных вентилях, отсечных и смесительных клапанов, шаровых кранов;

- 3D-модели кожухотрубчатого теплообменника с компенсатором и с плавающей головкой;

– 3D-модели ТС производств пигмента алого 2С, красителя прямого фиолетового светопрочного, этилового спирта, альтакса, пигмента хромового черного О, фенил-гамма-кислоты;

– библиотека виртуальных имитационных моделей совмещенных ТС производств пигмента алого 2С и ярко-красного 4Ж, лака ПФ-060 и 3-оксихинальдин-4-карбоновой кислоты, смол марки КФ-МХ и КФ-Ж, акририла МЭК, пигмента хромового черного О;

– библиотека виртуальных тренажеров для обучения операторов производств красителей прямого оранжевого прочного, прямого ярко-оранжевого, кислотного алого, желтого легкосмываемого; прямого желтого К и т.д.;

– упрощенные виртуальные модели территорий следующих промышленных предприятий: ОАО «Тамбовгальванотехника» им. С.И. Лившица; ОАО «Тамбовский завод «Электроприбор»; ЗАО «Завод Тамбовполимермаш»; Тамбовский вагоноремонтный завод (филиал ОАО «Вагонремаш»); ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова»; ОАО «Завод «Тамбоваппарат»; ОАО «Пигмент».

Предложенный подход к построению виртуальной модели образовательных ресурсов кафедры и формированию единого информационного пространства учебно-материальных ресурсов вуза в перспективе позволит реализовать технологию дистанционного обучения, позволяющую [14, 15]:

– снизить затраты на проведение обучения (не требуются затраты на аренду помещений, поездок к месту учебы как учащихся, так и преподавателей и т.п.);

– повысить качество обучения за счет применения современных технических средств, использования электронных библиотек, справочников и т.д.

– создать единую образовательную среду.

Прототип виртуальной модели образовательных ресурсов выпускающей кафедры технического профиля размещен в сети Интернет (<http://www.170514.tstu.ru/ios/>) и активно используется студентами кафедры АПТО ТГТУ при выполнении курсовых работ и проектов, квалификационных работ, а также работниками конструкторских отделов ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова» и ООО «Моршанскхиммаш» (Россия, г. Моршанск, Тамбовская область).

Ряд разработанных виртуальных моделей технических объектов использованы при разработке конструкторской документации машиностроительной продукции, выпускаемой ООО «Моршанскхиммаш».

### *Список литературы*

1. Методы и алгоритмы создания виртуальных моделей химико-технологических систем / В.А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Изд. дом Тамб. гос. ун-та им. Г.Р. Державина, 2011. – 282 с.

2. Мокрозуб, В.Г. Методологические основы построения автоматизированной информационной системы проектирования технологического оборудования / В.Г. Мокрозуб, М.П. Мариковская, В.Е. Красильников // Системы упр. и информ. технологии. – 2007. – № 1.2 (27). С. 259–262.

3. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуальная автоматизированная система проектирования химического оборудования. / В.Г. Мокрозуб, М.П. Марикова, В.Е. Красильников // Системы управления и информационные технологии – 2007. – № 4.2 (30). – С. 264–267.
4. Система автоматизированного расчета и конструирования химического оборудования / Е.Н.Малыгин [и др.] // Информ. технологии. – 2000. – № 12. – С. 19–21 .
5. Карпушкин, С.В Методика оценки эффективности аппаратурного оформления химико-технологических систем многоассортиментного производства / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко // Информ. системы и технологии. – 2011. – № 5–67. – С. 96–105.
6. Карпушкин, С.В Система выбора аппаратурного оформления многоассортиментных химических производств / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко // Информ. технологии. – 2004. – № 10. – С. 14.
7. Карпушкин, С.В Методика выбора основной аппаратуры технологических систем при проектировании многоассортиментных химических производств. Часть I. Постановки задач и схема их совместного решения / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко // Информ. технологии в проектировании и производстве. – 2012. – № 3. – С. 52–58.
8. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 1. Аналитические и процедурные модели (часть 2 см. № 1, 2010 г.) / С.Я. Егоров [и др.] // Информ. технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 4. – С. 3–11.
9. Егоров, С.Я. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 2. Структура и функционирование системы (часть 1 см. в ИТПП № 4, 2009 г.) / С.Я. Егоров [и др.] // Информ. технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 1. – С. 33–39.
10. Mokrozub, V.G. Domain Invariant Software for Computer Aided Systems for Allocating Spatial Objects / V.G. Mokrozub, K.V. Nemtinov, K.A. Sharonin // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2012. – Vol. 46, No. 2. – P. 68–78.
11. Мокрозуб, В.Г. Представление структуры изделий в информационных системах управления машиностроительными предприятиями / В.Г. Мокрозуб // Вестн. компьютер. и информ. технологий. – 2009. – № 10. – С. 30–34.
12. Технология создания пространственных моделей территориально распределенных объектов с использованием геоинформационных систем / В.А. Немтинов [и др.] // Информ. технологии. – 2008. – № 8. – С. 23–25.
13. Малыгин, Е.Н. Автоматизированный синтез сооружений биохимической очистки сточных вод / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Теорет. основы хим. технологии. – 2002. – Т. 36, № 2. – С. 188.
14. Малыгин, Е.Н. Автоматизированный синтез системы очистки газовых выбросов для многоассортиментных малотоннажных химических производств / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Теорет. основы хим. технологии. – 2003. – Т. 37, № 6. – С. 613–619.

15. Краснянский, М.Н. Системный подход к проектированию автоматизированной информационной системы обучения студентов и тренинга операторов химико-технологических систем / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 926–935.
16. Краснянский, М.Н. Применение виртуальных тренажеров для обучения студентов химико-технологического профиля и повышения квалификации персонала химических предприятий / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Ю.В. Чаукин // Открытое образование. – 2005. – № 6. – С. 51–54.
17. Краснянский, М.Н. Обучение операторов химических производств с применением тренажерных систем / М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин, Д.Л. Дедов // Хим. пром-сть сегодня. – 2011. – № 4. – С. 44–49.
18. Малыгин, Е.Н. Технология организации открытого удаленного компьютерного доступа к лабораторным ресурсам на базе среды программирования labVIEW / Е.Н. Малыгин, М.Н. Краснянский, С.В. Карпушкин // Информ. технологии. – 2001. – № 8. – С. 41.
19. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, П.И. Пахомов // Информ. технологии. – 2009. – № 10. – С. 34–38.
20. Прототип виртуальной модели учебно-материальных ресурсов университета химико-технологического профиля / В.А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Изд. дом Тамб. гос. ун-т им. Г.Р. Державина, 2012. – 436 с.
21. Мокрозуб, В.Г. Таксономия в базе данных стандартных элементов технических объектов / В.Г. Мокрозуб // Информ. технологии. – 2009. – № 11. – С. 18–22.
22. Опыт разработки электронной графической справочной системы по технологическому оборудованию и ее использование в учебном процессе / С.Я. Егоров [и др.] // Информ. технологии. – 1999. – № 8. – С. 35–37.
23. Создание информационных справочных систем с использованием технологии Internet/Intranet / В.А. Немтинов [и др.] // Информ. технологии. – 1999. – № 7. – С. 37–39.
24. Информационное пространство при управлении химическим предприятием / В.А. Немтинов [и др.] // Хим. пром-сть сегодня. – 2010. – № 9. – С. 6–13.
25. Немтинов, В.А. Методологические основы построения информационной системы принятия решений по обеспечению экологической безопасности / В.А. Немтинов // Научно-техн. информ. Сер. 1. Орг. и методика информ. работы. – 2005. – № 10. – С. 1–7.
26. Немтинов, В.А. Использование интернета при информационной поддержке принятия решений по управлению промышленным предприятием / В.А. Немтинов [и др.] // Приклад. информатика. – 2010. – № 4. – С. 8–12.
27. Борисенко, А.Б. Применение метода ветвей и границ для оптимального выбора аппаратного оформления химико-технологических систем / А.Б. Борисенко, С.В. Карпушкин // Вычисл. технологии. – 2012. – Т. 17, № 1. – С. 35–43.

## **Development of a Virtual Model Prototype of Teaching and Material Resources of University with Chemical Technology Specialization**

**V.A. Nemtinov, V.V. Yukhanov, E.N. Malygin,  
S.V. Karpushkin, S.Ya. Yegorov, V.G. Mokrozub,  
A.B. Borisenko, Yu.V. Nemtinova**

*Tambov State Technical University, Tambov;  
OOO "Morshanskhimmash", the Tambov region, Morshansk*

**Key words and phrases:** information technology; software and hardware complex; teaching and material resources; university of chemical technology specialization; virtual model.

**Abstract:** The article covers the issues of creating a virtual model of educational resources of major university departments with technical specialization including virtual laboratories corresponding to research areas of their staff and specializations for bachelor's, master's and specialist's degrees:

- laboratory of 3D-modeling of components and units of technological equipment;
- laboratory of virtual modeling of industrial equipment and technological systems;
- laboratory of technological systems simulation;
- laboratory of virtual simulators for operators of chemical and technological systems;
- laboratory of virtual models of geographically-distributed objects.

The development of a virtual model of teaching and material resources was based on methods and algorithms of creating virtual models of industrial objects of technological systems created by the team of authors at the Department of "Computer-aided design of processing equipment" at Tambov State Technical University.

---

© В.А. Немтинов, В.В. Юханов, Е.Н. Малыгин,  
С.В. Карпушкин, С.Я. Егоров, В.Г. Мокрозуб,  
А.Б. Борисенко, Ю.В. Немтинова, 2013