

**М.В. Степанов, А.С. Сигов, В.К. Раев, Р.И. Держинский**

**ПРОГРАММНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА  
ДЛЯ СЕТЕВОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ  
И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
МАРШРУТНЫХ КАРТ И ВИРТУАЛЬНЫХ  
ЦИФРОВЫХ ШАБЛОНОВ  
В ОТКРЫТЫХ МНОГОКЛАСТЕРНЫХ  
НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

*Решающей составной частью открытой многокластерной нанотехнологической установки – гибкой производственной системы – является модуль «Суперкомпьютер». Это позволяет организовать замкнутую нанотехнологическую линию – «дизайн-центр + нанофабрика». Модуль «Суперкомпьютер» позволяет моделировать и проектировать микроструктуры, наноэлементы, наносхемы, функциональные наносистемы, МЭМС, НЭМС, которые можно изготавливать на многокластерной нанотехнологической установке.*

**Ключевые слова:** *гибкая производственная система, цифровая фабрика, нанокompилятор, квантовый клеточный автомат, квантовый размерный эффект, поляризация, топология, плотность интеграции, полный бинарный сумматор, ячейка памяти, наносхема, градиентный концентратор, фотоконвертор, суперконденсатор, искусственная сетчатка (ретина).*

**M.V. Stepanov, A.S. Sigov, V.K. Raev, R.I. Dzerzhinsky**

**SOFTWARE INFRASTRUCTURE  
FOR NETWORK DISTRIBUTED PROCESSING  
AND DATA TRANSFER  
OF NANOTECHNOLOGICAL ROUTE MAPS  
AND VIRTUAL DIGITAL TEMPLATES  
IN OPEN MULTICLUSTER  
NANOTECHNOLOGICAL INSTALLATIONS**

*The crucial integral part of the open multiclusters nanotechnology installing – a flexible manufacturing system – is a module “Supercomputer”. This allows us to organize a closed line of nanotechnology – design center + nanofactory. “Supercomputer” module allows to simulate and design microstructure, nanoelements, nanocircuits, functional nanosystems, MEMS, NEMS that can be made on multiclusters nanotechnology installing.*

**Keywords:** *flexible manufacturing system, digital factory, nanogenerator, quantum cellular automata, quantum size effect, polarization, topology, density of integration, full binary adder, memory cell, nanoscheme, gradient hub, photoconverter, supercapacitor, artificial retina.*

## **Введение**

В основу создания открытой многокластерной нанотехнологической установки – гибкой производственной системы (МКНТУ – ГПС) [1–3, 10–13] (рис. 1, рис. 2) положены базовые принципы гибких производственных систем (ГПС) или гибких автоматизированных производств (ГАП): модульное построение и открытая архитектура. Принципы ГПС и ГАП позволяют многократно наращивать возможности открытой МКНТУ и гибко перенастраивать её технологические циклы. В открытой МКНТУ применяются сухие плазменные групповые технологии и нанолокальные зондовые технологии. Решающей составной частью МКНТУ является модуль «Суперкомпьютер». В состав МКНТУ входят: технологические, транспортные, аналитические модули с индивидуальным компьютерным управлением, соединённые локальной вычислительной сетью (ЛВС) на базе протоколов Ethernet и RS-485.

### **1. Физические основы и состав программной инфраструктуры модулей открытой МКНТУ**

1. Единая программная система (ПС) выдачи заданий и контроля их исполнения вакуумной транспортной системой открытой МКНТУ, в которую входят модули «Шлюз», модули «РРЦ1», «Переходник», «РРЦ2».

2. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «Изолятор» для плазмохимического нанесения (PECVD) защитных изолирующих диэлектрических плёнок.

3. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «Проводник» для плазмохимического нанесения (PECVD) проводящих магнитных и немагнитных многослойных или многокомпонентных металлических плёнок, а также изолирующих защитных диэлектрических алмазоподобных углеродных плёнок.

4. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «Микроплазма» для реактивного ионно-плазменного и плазмохимического травления (RIE, PE) изолирующих и проводящих плёнок через 2D-маски, стравливания остатков электронорезиста.

5. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «Электронорезист» для нанесения и сушки методом центрифугирования ровного слоя электронорезиста, необходимого для создания 2D-маски.

6. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «СТМ-наноитография» (рис. 11) для нанолокального зондового химического осаждения из газовой фазы (NLZCVD) и нанолокального зондового плазмохимического травления (NLZPE) 2D-топологий наноструктур.

7. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «Нанотрава» для каталитического осаждения массивов вертикально ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ) по технологии плазмой стимулированного химического осаждения из газовой фазы (PECVD, DLC).

8. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «Турбоком», предназначенного для общего управления модулями открытой МКНТУ – верхний уровень распределённой сетевой иерархической автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП). Со всеми управляющими компьютерами технологических, транспортных и аналитических модулей, входящими в АСУТП МКНТУ, ПС модуля «Турбоком» соединён ЛВС (рис. 3–5, рис. 10, рис. 11) на основе протоколов Ethernet (модули «Суперкомпьютер» и «СТМ-наноитография») и RS-485 (модули «Шлюз», «РРЦ1», «РРЦ2», «Переходник», «Проводник», «Изолятор», «Нанотрава», «Микроплазма», «Электронорезист»). ПС модуля «Турбоком» позволяет с помощью встроенного редактора генерировать, редактировать, анализировать, архивировать в базе данных электронные нанотехнологические маршрутные карты (НТМК) для управления технологическим процессом на открытой МКНТУ для изготовления образцов наносхем и функциональных наносистем. Для централизованного анализа текущих параметров технологических процессов в технологических модулях информация об управляемых и задаваемых параметрах передаётся по RS-485 в модуль

«Турбоком», где дополнительно отображается, архивируется и анализируется (рис. 3, рис. 10). ПС модуля «Турбоком» работает под ОС Linux – 64-bit CentOS 6.9, GNOME 2.0. ПС технологических, транспортных, аналитических модулей МКНТУ работают под управлением ОС 32-bit Microsoft Windows XP (SP3).

9. ПС выдачи заданий и контроля их исполнения модуля «Суперкомпьютер» имеет открытую расширяемую архитектуру ( $2 \times \text{Tesla S1070}$ :  $2 \times 960 = 1920$  kernel – вычислительных ядер ([www.nvidia.ru](http://www.nvidia.ru)), 64-bit CentOS 6.9, GNOME 2.0, GCC, GTK+, CUDA,  $4 \times \text{Intel Xeon 5520/5620}$ , RAM  $2 \times 36$  GB, HDD  $2 \times 1600$  GB) и предназначен для массивно параллельных вычислений в ходе математического моделирования и оптимизации параметров наноструктур, наносхем, наносистем и нанотехнологических процессов (рис. 3, рис. 5). Главной задачей модуля «Суперкомпьютер» является генерация виртуальных цифровых шаблонов (ВЦШ) для модуля «СТМ-наноитография». Генерация ВЦШ выполняется с помощью нанокompилятора (САПР НЭ).

## **2. Методы исследования**

### **2.1. Назначение**

Программная система «Суперкомпьютер» (рис. 3–9) предназначена для моделирования, проектирования, разработки технологии изготовления, тестирования, верификации функциональных наносистем для нанoeлектроники, МЭМС и НЭМС, наноэнергетики, нанооптики и 3D интегральных наносхем на основе квантовых клеточных автоматов (ККА).

Нанокompилятор (САПР НЭ) – программная система (рис. 3–9), которая базируется на аппаратной платформе модуля «Суперкомпьютер» и связана по локальной вычислительной сети (ЛВС) Ethernet с ПС модуля «Турбоком»: автоматизированная система управления технологическим производством (АСУТП) МКНТУ (ГПС). На выходе нанокompилятора выдаёт виртуальные цифровые шаблоны (ВЦШ) для формирования 2D/3D-топологии микроструктур и наноструктур [1–3; 10–13].

Наносхемы на основе ККА-клапанов предназначены для использования в бортовой аппаратуре мобильных платформ, например: носимые устройства, малогабаритные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), необитаемые подводные лодки (НПЛ), космические аппараты (КА), сверхмалые КА (СМКА). Нанокompилятор предназначен для разработки на базе ККА функциональных рядов встраиваемых в бортовые системы и агрегаты мобильных платформ управляющих информационных бестранзисторных наносхем аналогово-цифровой обработки информации для адаптивного распределённого управления бортовым оборудованием. Управляющие информационные наносхемы аппаратно реализуют однородные вычислительные среды с максимально возможным уровнем живучести и устойчивости к сбоям и поражениям [4–9; 14–19].

### **2.2. Область применения**

Нанокompилятор (САПР НЭ), размещённый на модуле «Суперкомпьютер», являющийся неотделяемой частью МКНТУ (ГПС), ориентирован на предприятия формирующегося в настоящее время 6-го технологического уклада (нано-, био-, информационные и когнитивные технологии) [1–3; 10–13].

### **2.3. Краткое описание**

Нанокompилятор (рис. 3–5) – САПР функциональных наносистем и 3D интегральных наносхем на базе квантовых клеточных автоматов (ККА), сопряжённая с открытой многокластерной нанотехнологической установкой – гибкой производственной системой (МКНТУ, ГПС) (рис. 1, рис. 2): программная система (ПС), предназначенная для моделирования электрофизических, квантово-механических, термодинамических, топологических, технологических параметров наноэлементов и наносхем. На основе результатов моделирования ПС позволяет проектировать (генерировать) виртуальные цифровые шаблоны (ВЦШ) для изготовления элементов топологии наноэлементов и наносхем, начиная с микрометровых контактных площадок и кончая

нанометровыми элементами, которые работают на основе квантовых размерных эффектов (КРЭ).

Моделирование наноэлементов и наносхем, проектирование ВЦШ выполняется на суперкомпьютере с использованием массивных параллельных вычислений. Спроектированные ВЦШ передаются по ЛВС на компьютер модуля «Турбоком» – в систему управления верхнего уровня.

Программная система «Турбоком» – АСУТП для МКНТУ (ГПС) управляет технологическим процессом на аналитических, технологических, транспортных модулях МКНТУ согласно нанотехнологической маршрутной карте (НТМК). ПС является многопоточной и многомашинной с использованием гетерогенных ЛВС на базе Ethernet и промышленного протокола RS-485 (рис. 4). ПС (рис. 10, рис. 11) реализована на базе следующих операционных систем (ОС):

– 64-bit Community Enterprise Operating System 6.9 (CentOS 6.9) – модуль «Суперкомпьютер», модуль «Турбоком»;

– 32-bit Microsoft Windows XP SP3 – модуль «СТМ-нанолиитография», выполняющий литографию микроструктур и наноструктур в соответствии с ВЦШ, полученными по ЛВС Ethernet от модуля «Турбоком».

Для задания управляющим ПС технологических и транспортных модулей настроек для технологических и транспортных агрегатов соответствующих модулей для выполнения технологического процесса согласно НТМК предусмотрены соответствующие диалоговые панели с органами управления. Состояние настроек сохраняется в базе данных ПС модуля «Турбоком» и передаётся в ПС технологических, транспортных, аналитических модулей (рис. 6–8). На рис. 7 показан цикл сервера (ПС «Турбоком») для обслуживания сети RS-485 для распределения и выполнения заданий ПС модулей МКНТУ. На рис. 8 показан цикл клиентов (ПС модулей МКНТУ) для обслуживания сети RS-485 для распределения и выполнения заданий ПС модулей МКНТУ.

Цикл сервера (ПС модуля «Турбоком») выполняется отдельным процессом, или потоком (для ОС Linux CentOS 6.9 эти понятия совпадают), в котором запускается программный таймер. При срабатывании таймера выполняется функция, которая выбирает новый адрес абонента сети RS-485 – очередную ПС модуля МКНТУ, пытается установить с ним связь, в случае успеха – выполняет обмен информацией через COMPORT. При необходимости выполняется коррекция пересылаемой информации – локального фрагмента НТМК – выполнение технологических операций данного технологического модуля и его взаимодействие с транспортным модулем – приём и передача обрабатываемой подложки, на которой формируется функциональная наносистема. После успешного обмена данными с ПС очередного модуля выполняется выборка следующего адреса ПС очередного модуля. Если значение нового адреса превышает предельное значение адресов в сети RS-485, то формируется начальный адрес и цикл повторяется, если нет сигнала останова. При поступлении сигнала останова таймер выключается, процесс (поток) останавливается и закрывается (рис. 2).

Циклы клиентов (ПС технологических, транспортных, аналитических модулей МКНТУ) выполняются отдельными процессами, или потоками (для ОС Microsoft Windows XP/7/8/10 эти понятия различны: для процесса выделяется отдельный сегмент виртуальной памяти в 4ГБ, поток оперирует с общей виртуальной памятью своего родительского процесса). В режиме ожидания выполняется прослушивание сети RS-485. Если есть приём, то выполняется идентификация адресата принятого сообщения. Если это чужое сообщение (предназначенное для ПС другого модуля), то продолжается прослушивание сети RS-485 в режиме ожидания. Если принятое сообщение идентифицируется как своё (предназначенное для ПС этого модуля), то выполняется чтение и, при необходимости, коррекция сообщения. После возможной коррекции принятого сообщения запускается на выполнение принятый локаль-

ный фрагмент электронной НТМК – выполнение технологических операций данного технологического модуля и его взаимодействие с транспортным модулем – приём и передача обрабатываемой подложки, на которой формируется функциональная наносистема. Во время выполнения локального фрагмента НТМК на ПС клиента (ПС технологического, транспортного, аналитического модуля) посылается соответствующая информация. После завершения выполнения локального фрагмента НТМК на ПС сервера (ПС модуля «Турбоком») посылается соответствующая информация и выполняется перегрузка подложки в следующий технологический модуль для выполнения следующего локального фрагмента НТМК. ПС клиента проверяет наличие сигнала останова. Если сигнала останова нет, то продолжается прослушивание в режиме ожидания сети RS-485. Если сигнал останова есть, то процесс (поток) останавливается и закрывается (рис. 3).

#### **2.4. Основные характеристики и преимущества**

ПС реализована на языке программирования С (Си) с использованием библиотеки GTK+ для оконной оболочки GNOME, коллекции компиляторов GCC, компилятора Microsoft Visual C/C++ 6.0, Borland Builder C/C++ 6.0, MASM. Изготовление на МКНТУ (ГПС) по НТМК [1–3, 10–13] образцов наноструктур, реализующих наносхемы и наносистемы для энергетических систем КА [4–9], циклически проходит стадии (рис. 5), что позволяет из 2D-слоёв наноструктур изготавливать 3D-наносхемы и наносистемы [14–19].

#### **3. Результаты и обсуждение**

На открытой МКНТУ (ГПС) (рис. 1, рис. 2) возможны разработка, изготовление и исследование следующих рядов функциональных наносистем, управляющих информационных наносхем и устройств на их основе для применения на борту носимых устройств, БПЛА, НПЛ, КА, СМКА [1–19].

#### **4. Заключение**

Применение суперкомпьютера с нанокompилятором в качестве составной части открытой МКНТУ [10–13] с автоматическим управлением на основе НТМК через ЛВС позволит проводить весь технологический цикл полностью в вакуумной системе с контролируемой химически инертной средой, оборудованной вакуумными технологическими, транспортными, аналитическими модулями [1–3].

### **Литература**

1. Дубовой А.Н., Панченков И.В., Пушкарский С.В., Егоров С.Д., Мазур С.Н., Пустовалов Е.В., Соколова Ж.В., Степанов М.В. Многокластерная нанотехнологическая установка для исследования и изготовления наносхем и функциональных наносистем для систем энергообеспечения космических аппаратов // V Белорусский космический конгресс, 25–27.10.2011, Минск. – [www.cosmos.fas-net.by/belcosm5/](http://www.cosmos.fas-net.by/belcosm5/)

2. Дубовой А.Н., Родионов Б.Н., Егоров С.Д., Мазур С.Н., Коротеев А.В., Соколова Ж.В., Степанов М.В., Хлюстов П.М. Перспективы применения многокластерной нанотехнологической установки для изготовления наноэлементов космических аппаратов // Доклад и труды Международной конференции «Нанотехнология – производству-2013», 10–12 апреля 2013 г., г. Фрязино.

3. Дубовой А.Н., Родионов Б.Н., Егоров С.Д., Мазур С.Н., Коротеев А.В., Степанов М.В., Хлюстов П.М. Многокластерная нанотехнологическая установка для исследования и изготовления наносхем и функциональных наносистем для систем энергообеспечения космических аппаратов // Нанотехника. – 2013. – № 1 (33).

4. Kotter, D.K., Novack, S.D., Slafer, W.D., Pinhero, P. Solar nanoantenna electromagnetic collectors, Proceedings of ES2008 Energy Sustainability 2008 August 10-14, 2008, Jacksonville, Florida USA, ES2008-54016. – URL: <https://inlportal.inl.gov/>, [www.inl.gov/pdfs/nantenna.pdf](http://www.inl.gov/pdfs/nantenna.pdf)

5. Бункин В.А., Лускинович П.Н., Митрофанов О.И. Фотоконвертор // Описание изобретения к патенту Российской Федерации, RU 2217783 С2. – 27.11.2003. – Бюл. № 33.

6. Ананян М.А., Бункин В.А., Лускинович П.Н., Митрофанов О.И. Градиентный концентратор // Описание изобретения к патенту Российской Федерации, RU 2162257 С1. – 20.01.2001. – Бюл. № 2.

7. Митрофанов О.И. Двенадцатый диапазон и чуть дальше // Техника – молодёжи. – 2006. – № 09.

8. Митрофанов О.И. Нанотехнология. Шаг за горизонт. Инженерная записка // Техника – молодёжи. – 2001. – № 12.

9. Митрофанов О.И. Отчего трава зелёная. Смелые гипотезы // Техника – молодёжи. – 2005. – № 08.

10. Путилин А.Б., Соколова Ж.В., Степанов М.В., Коротеев А.В., Хлюстов П.М. Многокластерная нанотехнологическая установка для разработки, изготовления и исследования наносхем и функциональных наносистем // 15-я Международная научно-практическая конференция «Кибернетика и высокие технологии (С&Т-2014)», 13.05.2014–14.05.2014. – Воронеж: ВГУ, ОАО «Концерн Созвездие», НПФ «САКВОЁ», 2014.

11. Путилин А.Б., Степанов М.В., Соколова Ж.В. Нанокompилятор – САПР функциональных наносистем для нанoeлектроники, МЭМС и НЭМС, сопряжённая с открытой многокластерной нанотехнологической установкой – гибкой производственной системой (ОМКНТУ–ГПС) // 15-я Международная научно-практическая конференция «Кибернетика и высокие технологии (С&Т-2014)», 13.05.2014–14.05.2014. – Воронеж : ВГУ, ОАО «Концерн Созвездие», НПФ «САКВОЁ», 2014.

12. Путилин А.Б., Степанов М.В., Соколова Ж.В. Типовое формирование структуры однокаскадного ФЭП на Si или Ge и его изготовление на МКНТУ // 15-я Международная научно-практическая конференция «Кибернетика и высокие технологии (С&Т-2014)», 13.05.2014–14.05.2014. – Воронеж: ВГУ, ОАО «Концерн Созвездие», НПФ «САКВОЁ», 2014.

13. Степанов М.В., Соколова Ж.В., Путилин А.Б. Нанoeлектроника, нанoeнергетика, наносхемы, наносистемы: нанокompилятор для проектирования и изготовления 3D-наносистем как законченных изделий, на цифровых нанofабриках // LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 2016, Online-Resource: [сайт]. – URL: <https://www.lap-publishing.com>, искать в каталоге «Нанoeлектроника».

14. Etienne-Cummings, R., Van der Spiegel J., Mueller, P. A Visual Smooth Pursuit Tracking Chip // Advances in Neural Information Processing Systems 8 / D. Touretzky, M. Mozer, M. Jordan (Eds.), 1996. – Pp. 706–712.

15. Berton, Fabio, Sandini, Giulio, Metta, Giorgio. Anthropomorphic Visual Sensors // Encyclopedia of sensors / Edited by C.A. Grimes, E.C. Dickey, M.V. Pishko. Volume X. – Pages (1–16). Online-Resource: [сайт]. – URL: [www.aspbs.com/eos](http://www.aspbs.com/eos)

16. Eiichi Funatsu, Yoshikazu Nitta, Yasunari Miyake, Takashi Toyoda, Jun Otha, Kazuo Kyuma. An Aifical Reina Chip with Current-Mode Focal Plane Image Processing Function // IEEE Transaction on electron devices. – 1997. – Vol. 44. – No. 10. – Pp. 1777–1782. – October.

17. Espejo, S., Carmona, R. Carmona, Dominguez-Castro, R. and Rodriguez-Vazquez, A. A VLSI Oriented Continuous-Time CNN Model // International Journal of Circuits Theory and Applications. – 1996. – Vol. 24. – No. 3. – Pp. 341–356 / John Wiley and Sons Ed.

18. Kareem A. Zaghoul, Kwabena Boahen. A silicon retina that reproduces signals in the optic nerve // Journal of neural engineering. – 2006. – 3. – Pp. 257–267.

19. Искусственная сетчатка как протез глаза. – URL: <http://biomed.brown.edu/Courses/BII08/2006-108websites/group03retinalimplants/>

## References

1. Dubovoy, A.N., Panchenkov, I.V., Pushkarskiy, S.V., Egorov, S.D., Mazur, S.N., Pustovalov, E.V., Sokolova, Zh.V., Stepanov, M.V. Mnogoklasternaya nanotekhnologicheskaya ustanovka dlya issledovaniya i izgotovleniya nanoskhem i funktsional'nykh nanosistem dlya sistem energoobespecheniya kosmicheskikh apparatov // V Belorusskiy kosmicheskii kongress, 25–27.10.2011, Minsk. – [www.cosmos.fas-net.by/belcosm5/](http://www.cosmos.fas-net.by/belcosm5/)
2. Dubovoy, A.N., Rodionov, B.N., Egorov, S.D., Mazur, S.N., Koroteev, A.V., Sokolova, Zh.V., Stepanov, M.V., Khlyustov, P.M. Perspektivy primeneniya mnogoklasternoy nanotekhnologicheskoy ustanovki dlya izgotovleniya nanoelementov kosmicheskikh apparatov : doklad i trudy Mezhdunarodnoy konferentsii “Nanotekhnologiya-proizvodstvu-2013”, 10–12 aprelya 2013 g., g. Fryazino.
3. Dubovoy, A.N., Rodionov, B.N., Egorov, S.D., Mazur, S.N., Koroteev, A.V., Stepanov, M.V., Khlyustov, P.M. Mnogoklasternaya nanotekhnologicheskaya ustanovka dlya issledovaniya i izgotovleniya nanoskhem i funktsional'nykh nanosistem dlya sistem energoobespecheniya kosmicheskikh apparatov // Nanotekhnika. – 2013. – № 1 (33).
4. Kotter, D.K., Novack, S.D., Slafer, W.D., Pinhero, P. Solar nanoantenna electromagnetic collectors, Proceedings of ES2008 Energy Sustainability 2008 August 10-14, 2008, Jacksonville, Florida USA, ES2008-54016. – URL: <https://inlportal.inl.gov/>, [www.inl.gov/pdfs/nantenna.pdf](http://www.inl.gov/pdfs/nantenna.pdf)
5. Bunkin, V.A., Luskinovich, P.N., Mitrofanov, O.I. Fotokonvertor // Opisaniye izobreteniya k patentu Rossiyskoy Federatsii, RU 2217783 C2. – 27.11.2003. – Byul. № 33.
6. Ananyan, M.A., Bunkin, V.A., Luskinovich, P.N., Mitrofanov, O.I. Gradientnyy kontsentraty // Opisaniye izobreteniya k patentu Rossiyskoy Federatsii, RU 2162257 C1. – 20.01.2001. – Byul. № 2.
7. Mitrofanov, O.I. Dvenadtsatyy diapazon i chut' dal'she // Tekhnika – molodyozhi. – 2006. – № 09.
8. Mitrofanov, O.I. Nanotekhnologiya. Shag za gorizont. Inzhenernaya zapiska // Tekhnika – molodyozhi. – 2001. – № 12.
9. Mitrofanov, O.I. Otchego trava zelyonaya. Smelye gipotezy // Tekhnika – molodyozhi. – 2005. – № 08.
10. Putilin, A.B., Sokolova, Zh.V., Stepanov, M.V., Koroteev, A.V., Khlyustov, P.M. Mnogoklasternaya nanotekhnologicheskaya ustanovka dlya razrabotki, izgotovleniya i issledovaniya nanoskhem i funktsional'nykh nanosistem // 15-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Kibernetika i vysokie tekhnologii (C&T-2014)”, 13.05.2014–14.05.2014. – Voronezh : VGU, OAO “Kontsern Sozvezdie”, NPF “SAKVOYO”, 2014.
11. Putilin, A.B., Stepanov, M.V., Sokolova, Zh.V. Nanokompilyator – SAPR funktsional'nykh nanosistem dlya nanoelektroniki, MEMS i NEMS, sopryazhonnaya s otkrytoy mnogoklasternoy nanotekhnologicheskoy ustanovkoy – gibkoy proizvodstvennoy sistemoy (OMKNTU–GPS) // 15-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Kibernetika i vysokie tekhnologii (C&T-2014)”, 13.05.2014–14.05.2014. – Voronezh : VGU, OAO “Kontsern Sozvezdie”, NPF “SAKVOYO”, 2014.
12. Putilin, A.B., Stepanov, M.V., Sokolova, Zh.V. Tipovoe formirovaniye struktury odnokaskadnogo FEP na Si ili Ge i ego izgotovlenie na MKNTU // 15-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Kibernetika i vysokie tekhnologii (C&T-2014)”, 13.05.2014–14.05.2014. – Voronezh : VGU, OAO “Kontsern Sozvezdie”, NPF “SAKVOYO”, 2014.
13. Stepanov, M.V., Sokolova, Zh.V., Putilin, A.B. Nanoelektronika, nanoenergetika, nanoskhemy, nanosistemy: nanokompilyator dlya proektirovaniya i izgotovleniya 3D-nanosistem kak zakonchennykh izdeliy, na tsifrovyykh nanofabrikakh // LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 2016, Online-Resource: [sayt]. – URL: <https://www.lap-publishing.com>, iskat' v kataloge «Nanoelektronika».

14. *Etienne-Cummings, R., Van der Spiegel J., Mueller, P.* A Visual Smooth Pursuit Tracking Chip // *Advances in Neural Information Processing Systems 8* / *D. Touretzky, M. Mozer, M. Jordan* (Eds.), 1996. – Pp. 706–712.

15. *Berton, Fabio, Sandini, Giulio, Metta, Giorgio.* Anthropomorphic Visual Sensors // *Encyclopedia of sensors* / Edited by C.A. Grimes, E.C. Dickey, M.V. Pishko. Volume X. – Pages (1–16). Online-Resource: [сайт]. – URL: [www.aspbs.com/eos](http://www.aspbs.com/eos)

16. *Eiichi Funatsu, Yoshikazu Nitta, Yasunari Miyake, Takashi Toyoda, Jun Otha, Kazuo Kyuma.* An Aifical Reina Chip with Current-Mode Focal Plane Image Processing Function // *IEEE Transaction on electron devices.* – 1997. – Vol. 44. – No. 10. – Pp. 1777–1782. – October.

17. *Espejo, S., Carmona, R. Carmona, Dominguez-Castro, R. and Rodriguez-Vazquez, A.* A VLSI Oriented Continuous-Time CNN Model // *International Journal of Circuits Theory and Applications.* – 1996. – Vol. 24. – No. 3. – Pp. 341–356 / John Wiley and Sons Ed.

18. *Kareem A. Zaghoul, Kwabena Boahen,* A silicon retina that reproduces signals in the optic nerve // *Journal of neural engineering.* – 2006. – 3. – Pp. 257–267.

19. *Iskusstvennaya setchatka kak protez glaza.* – URL: <http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/2006-108websites/group03retinalimplants/>





Рис. 1. Общий вид открытой МКНТУ. Технологические, аналитические, транспортные модули [1–3, 10–13], ПС управляющих компьютеров которых объединены в промышленную ЛВС RS-485

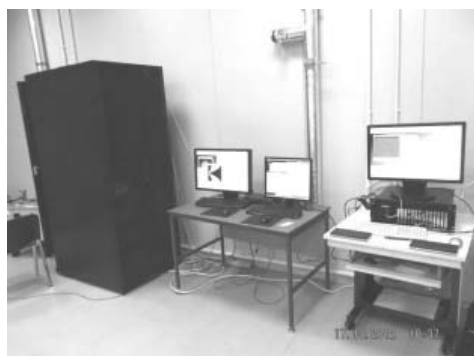


Рис. 2. ЛВС Ethernet управляющих ПС модулей «Суперкомпьютер» и «Турбоком» [1–3, 10–13]

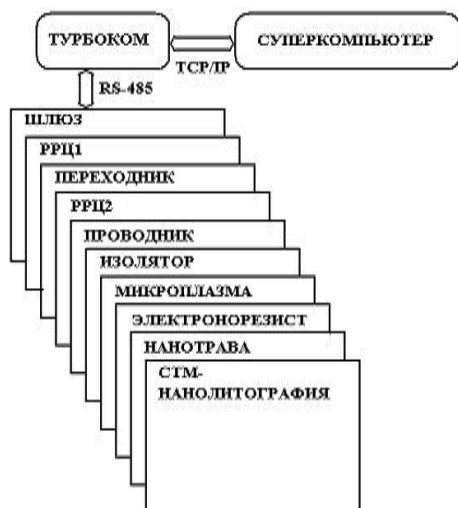


Рис. 4. Сетевая структура ПИ открытой МКНТУ. ПС модуля «Турбоком»: центр управления МКНТУ верхнего уровня [1–3, 10–13]. ПС модуля «Суперкомпьютер» используется для высокопроизводительных массивно-параллельных научно-технических расчётов и генерации нанотехнологических маршрутных карт (НТМК) для технологических и транспортных ПС модулей открытой МКНТУ: «Шлюз», «РРЦ1», «Переходник», «РРЦ2», «Проводник», «Изолятор», «Микроплазма», «Нанотрава», «Электронорезист», «СТМ-нанолитография»

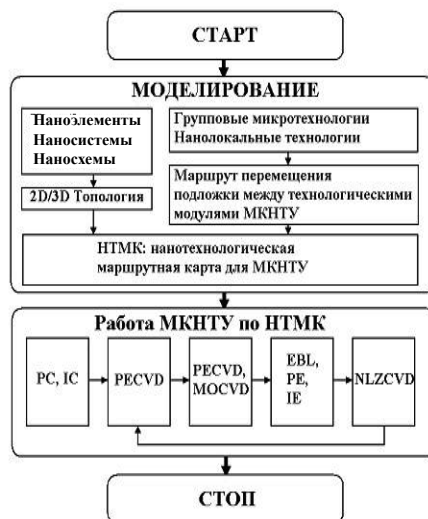


Рис. 5. Информационная структура ПИ открытой МКНТУ. Блок-схема моделирования и генерации НТМК для открытой МКНТУ для изготовления функциональных наносистем, управляющих наносхем [1–3, 10–13]



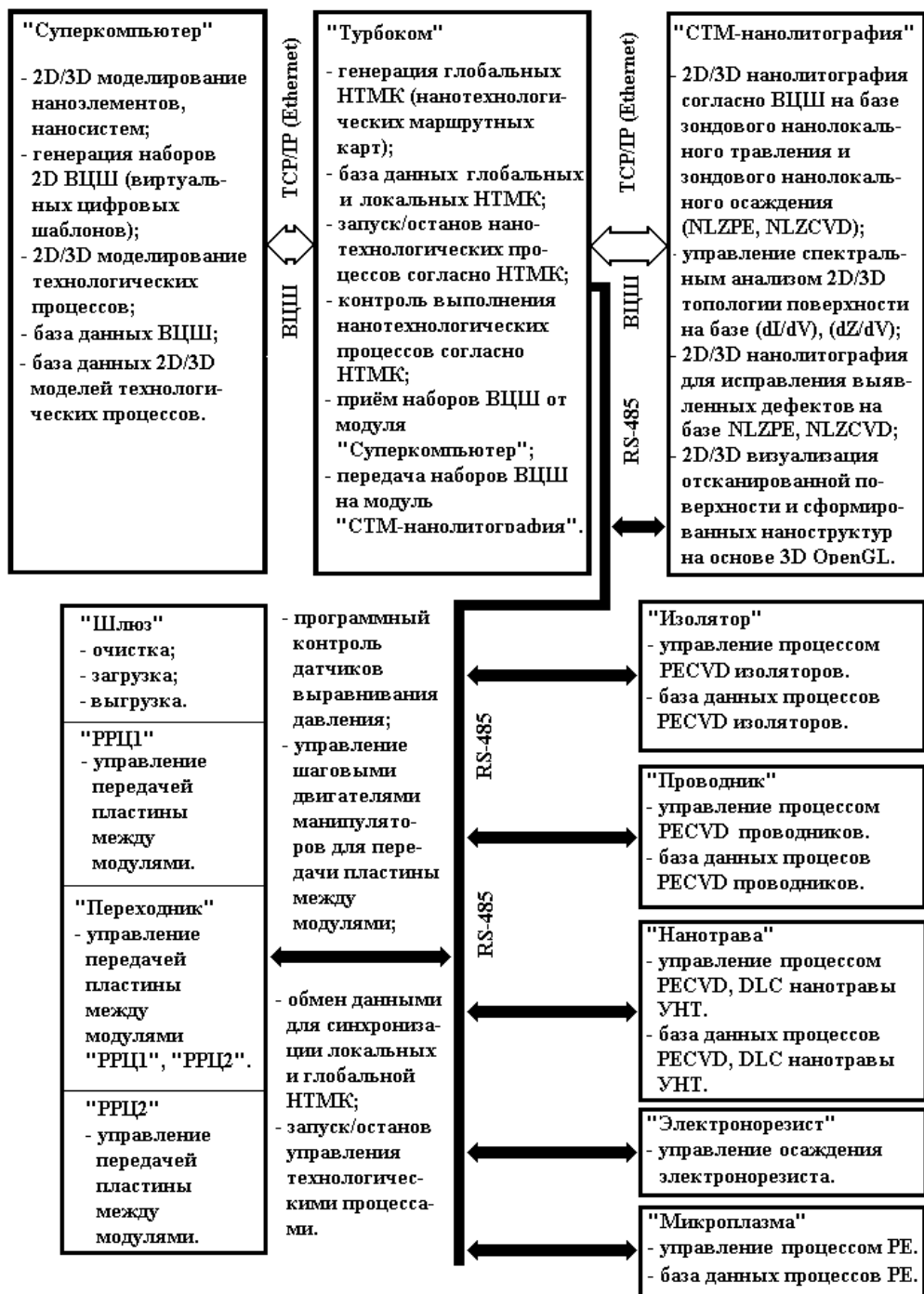


Рис. 6. Архитектура ПИ открытой МКНТУ на базе ЛВС TCP/IP и RS-485 для распределённой обработки и передачи данных для взаимодействия ПС модулей открытой МКНТУ с целью управления транспортными, технологическими, аналитическими модулями открытой МКНТУ в соответствии с электронными НТМК и ВЦШ

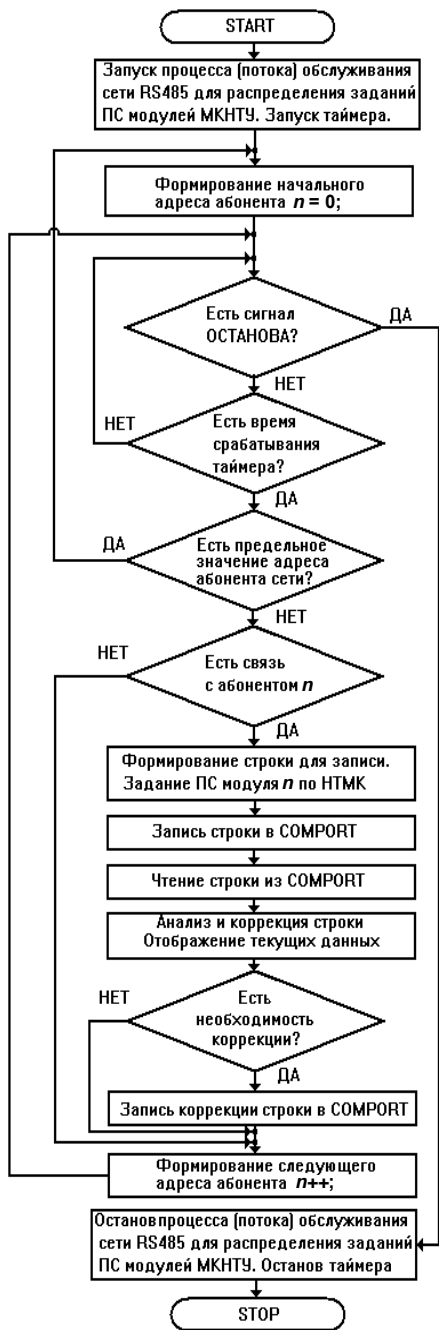


Рис. 7. Цикл сервера (ПС «Турбоком») для обслуживания сети RS-485 для распределения и выполнения заданий ПС модулей МКНТУ

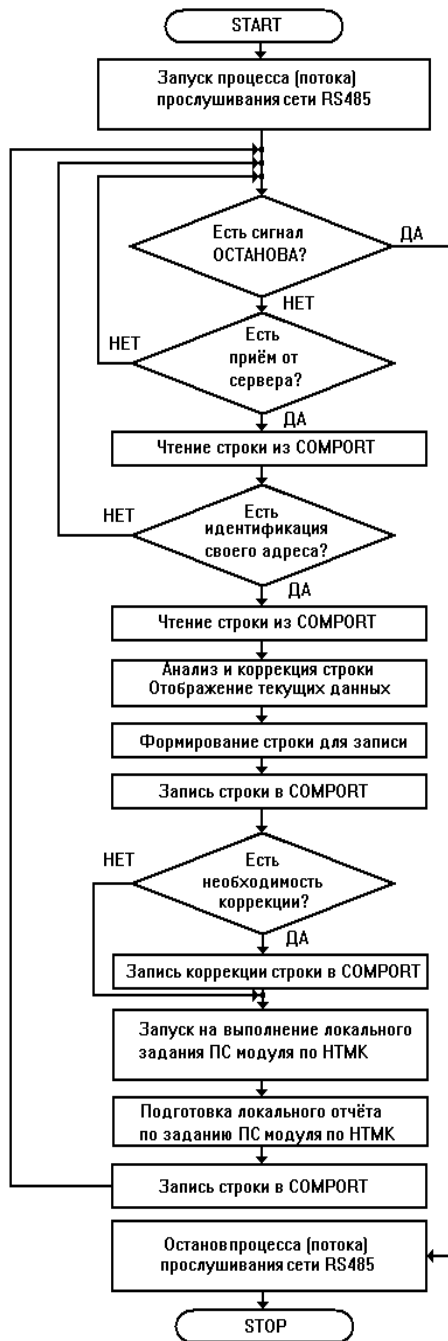


Рис. 8. Цикл клиентов (ПС модулей МКНТУ) для обслуживания сети RS-485 для распределения и выполнения заданий ПС модулей МКНТУ

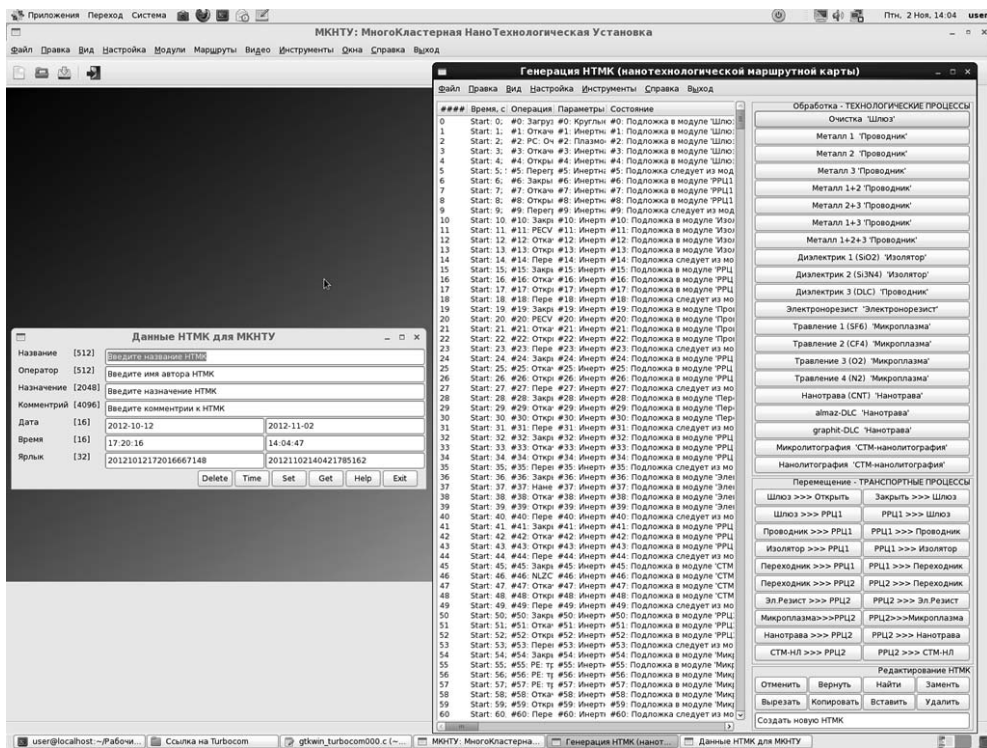


Рис. 9. Диалоговая панель для генерации НТМК с помощью кнопок, отвечающих за стандартные технологические и транспортные операции. Загружен ранее сгенерированный файл НТМК. Для определения и задания его свойств с помощью опции «Данные НТМК» из пункта меню «Маршруты» (главного окна) вызывается диалоговая панель «Данные НТМК для МКНТУ». Разработка М.В. Степанов, 2012



Рис. 10. Передача ВЦШ с ПС модуля «Суперкомпьютер» на ПС модуля «Турбоком» [1–3, 10–13] по ЛВС Ethernet



Рис. 11. Приём ВЦШ на ПС модуля «СТМ-наноитография» с ПС модуля «Суперкомпьютер» через ПС модуля «Турбоком» [1–3, 10–13] по ЛВС Ethernet