

Комитет по образованию  
Правительства Санкт-Петербурга  
Физико-математический лицей №239

### **III Всероссийская конференция «Современное технологическое обучение:**

**от компьютера к роботу»**

(сборник тезисов)

28 марта 2013 г.

Санкт-Петербург  
2013

### **Среда визуального программирования роботов QReal: Robots**

**д.ф.-м.н., проф. А.Н. Терехов,**  
зав. каф. системного программирования Санкт-Петербургского  
государственного университета

**Т.А. Брыксин,**  
ст. преп. кафедры системного программирования Санкт-  
Петербургского государственного университета

**Ю.В. Литвинов,**  
ст. преп. кафедры системного программирования Санкт-  
Петербургского государственного университета

В школах для преподавания информатики всё более активно внедряются робототехнические конструкторы. Детям проще понимать, как программа работает, если они видят реальный осязаемый объект, который эту программу исполняет. Самый популярный конструктор на данный момент — Lego Mindstorms NXT, он позволяет из набора моторов, датчиков, блока управления и пластмассовых деталей собирать достаточно сложные конструкции. Это позволяет решать те же задачи, которые решаются с помощью привычных исполнителей (таких как “черепашка” Logo), и более сложные задачи, требующие изучения принципов кибернетики. Робот может действовать как автономно по загруженной на него программе, так и удалённо управляться с компьютера по интерфейсу Bluetooth.

Для программирования этого конструктора существует несколько как текстовых, так и визуальных сред программирования. Самые известные визуальные среды на данный момент — поставляемая с конструктором среда NXT-G, и среда Robolab,

распространяемая отдельно, и специально предназначенная для школьного образования. Обе эти среды имеют существенные недостатки, затрудняющие их использование в российских школах. Среда NXT-G обладает слишком слабой поддержкой математических выражений, так что даже несложные кибернетические алгоритмы реализовать на ней очень сложно. Среда Robolab имеет довольно высокую стоимость, поэтому многим школам просто не по карману, к тому же обладает несколько устаревшим пользовательским интерфейсом. Обе эти среды русифицированы лишь частично.

Существует потребность в создании новой среды программирования роботов на замену наиболее распространённой сейчас в школах среды Robolab. Школьные учителя высказывали дополнительные требования, которые в существующих средах не реализованы, такие как наличие средств отладки программы, возможность генерации текстового представления программы, наличие виртуального исполнителя на экране компьютера, способного исполнять те же программы, что и реальный робот. Поэтому два года назад было принято решение о начале разработки среды программирования QReal:Robots, которая создавалась бы специально для использования в школьном образовательном процессе, с учётом пожеланий школьных учителей и методистов.

На данный момент среда QReal:Robots имеет уже несколько публичных версий, была представлена на нескольких конференциях и робототехнических соревнованиях. В QReal:Robots программа представляется в виде визуальных блоков, соединённых в порядке их исполнения. Пример программы на QReal:Robots представлен на рисунке 1.

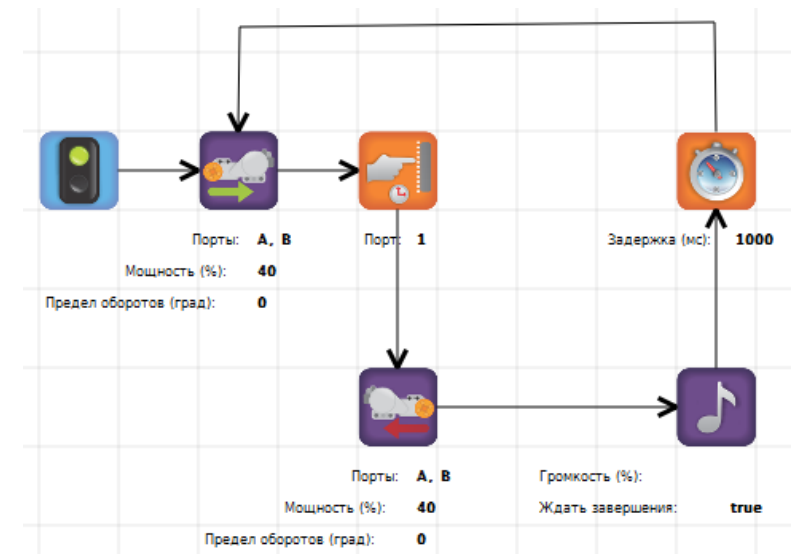


Рисунок 1. Пример программы на QReal:Robots.

На данный момент QReal:Robots обладает следующими возможностями.

- Поддержка всех стандартных датчиков и моторов конструктора Lego Mindstorms NXT 2.0
- Полноценная поддержка математических выражений, с переменными, тригонометрическими функциями, возможностью обращения к текущим значениям датчиков.
- Интерпретация программы с управлением роботом по Bluetooth или USB, генерация кода для загрузки на робот.
- Двухмерная модель, способная выполнять те же программы, что и реальный робот, с эмуляцией элементов внешнего мира.

При этом в настоящее время активно развивается. Например, за последние полгода в среду были внесены следующие основные изменения:

- Добавлена поддержка датчика света из предыдущей версии набора Mindstorms.
- Внесены многочисленные изменения в пользовательский интерфейс программы, исправлены ошибки.
- Добавлен новый набор иконок.
- Добавлена генерация в текстовый язык программирования “русский си”.
- Добавлена поддержка отмены и повторения действий пользователя.

Таким образом, сейчас QReal:Robots представляет собой достаточно стабильную и активно развивающуюся среду программирования, которую уже сейчас начинают применять в школьных кружках по робототехнике по всей стране.

#### **К вопросу о содержании курса робототехники в учреждениях дополнительного образования**

**Лазарев Михаил Викторович,**  
педагог дополнительного образования  
МОУ ДОД ЦДТ «Родник»  
г. Орехово-Зуево Московской области

Курс робототехники в учреждениях дополнительного образования должен содержать как общие составляющие обучения техническому мышлению, так и темы, составляющие содержание курса робототехники. В процессе обучения необходимо развивать у учеников образное, теоретическое и практическое мышление, не исключая ни одного из них. Ведущий тип обуче-

ния должен быть проблемный (поисковый или частично поисковый). Методы решения учебных задач – конкретно-алгоритмический и абстрактно-алгоритмический. Средства обучения должны быть максимально близкие к реально используемым.

В процессе обучения ученики должны изучить: механику и электронику роботов, датчики, программное обеспечение, элементы теории автоматического управления.

Ученики должны уметь: делать технические рисунки, эскизы, чертежи; монтировать и демонтировать механические и электрические составляющие робота (работать с монтажным инструментом); обрабатывать материалы (металл, пластик и т.п.), изготавливая из них детали робота; чертить и рассчитывать простейшие электрические схемы; выполнять механические расчёты; находить и устранять неисправности в механических и электрических частях робота; составлять и отлаживать программы для робота.

#### **Конструирование - основа робототехники**

**Хаит Денис Борисович,**  
педагог дополнительного образования,  
ГБОУ ДОД ДД(Ю)Т «У Вознесенского моста»,  
учитель информатики, ГБОУ Лицей №554.

В основе большинства современных программ по робототехнике лежит программирование и теория автоматического управления. Основное внимание в обучении робототехники уделяется автономным устройствам, работающим по заложенной в них программе, большинство конкурсов в городе, стране и мире ориентировано на задачи, решение которых требует изучение основ теории автоматического управления (ТАУ).

Опыт автора по преподаванию робототехники в виде кружка в дополнительном образовании, и введении элементов робототех-

ники на уроках информатики в основном образовании уже на первом году обучения позволил выявить несоответствие между интересами и возможностями учащихся и содержанием образовательных программ.

Учащимся с малым интересом и с трудом изучают даже простейшие задачи на программирование и ТАУ, такие как езда по линии, объезд препятствий, осознание же процессов, происходящих при выполнении этих заданий появляется у учащихся ближе к 13-14 годам, дети более младшего возраста, по наблюдению, скорее формально воспроизводят алгоритмы, объясняемые педагогом.

На сегодняшний день основной контингент интересующихся робототехникой составляют учащиеся начальной школы (3-4 классы).

Отсюда возникает проблема: возраст, в котором возникает интерес к созданию движущихся механизмов и изучению робототехники 8 — 11 лет, однако в этом возрасте сложно и мало эффективно изучать программирование и теорию автоматического управления.

Проблему можно решить, если в основу изучения робототехники в раннем возрасте положить конструирование.

Конструирование — значительная часть предмета робототехники, включающая разнообразные техники и приемы.

Обучение конструированию начинается с самых простейших элементов серии Lego System — кубиков. С их помощью учащиеся изучают основные принципы построения устойчивых и прочных конструкций.

Использование кубиков лего для создания интересных и больших конструкций достаточно дорогое удовольствие, поэтому от кубиков Лего можно плавно перейти к созданию своих собственных кубиков из более дешевого материала — гипса (технология Hirts Arts).

Следующий этап развития данного направления — это моделирование на компьютере своих собственных элементов и создания на их основе форм для тиражирования с помощью 3D-принтеров. Таким образом, начиная с самых простых элементов

ребенок может освоить полный цикл разработки устройства от идеи до прототипирования и тиражирования с использованием компьютера.

Следующий большой раздел — это построение статичных конструкций из элементов Lego technic, с помощью которых дети изучают названия деталей, основные принципы их соединения.

Ну и самым большим разделом конструирования, непосредственно связанным с робототехникой является создания движущихся механизмов. В рамках этого направления изучаются элементы для создания движущихся конструкций: шестеренки, кулачки, и т.д. механические, ременные, цепные, червячные передачи и т.д. Принципы создания кругового, возвратно-поступательного и других движений.

После изучения основ на простых моделях, можно переходить к изучению и созданию более серьезных и функциональных механизмов.

Одним из больших и востребованных направлений является моделирование транспорта: машин с передним, задним и полным приводами, рулевым управлением, внедорожников, гусеничного и другого вида транспорта.

Следующим направлением является создание разнообразных шагающих механизмов: от простейших на 4 ногах до андроидных роботов.

Еще одним важным и интересным направлением является создания различных роботов манипуляторов.

Для поднятия интереса и развития конструкторской мысли в обучение можно включить еще один интереснейший раздел GBC (Great Ball Construction). В рамках этого направления создается завод по транспортировке шариков.

В основу всех движущихся конструкций положены элементы Lego Power Functions, включающие разнообразные моторчики с блоком питания, инфракрасный пульт и приемник дистанционного управления. Все элементы Power Functions не требуют программирования.

В схемотехнику элементов Power Functions заложена возможность создавать электронные устройства, которые могут управлять моторчиками, что открывает большие возможности для людей владеющих электроникой по созданию разнообразных датчиков, не требующих программирования. С такими датчиками можно использовать конструкторы Lego для создания и изучения ВЕАМ-роботов.

Возраст, в котором у детей пробуждается интерес к созданию роботов, накладывает серьезные ограничения на использование программируемых технических устройств. Однако использование конструирования как основы для робототехники позволит поддержать интерес учащихся до того возраста, когда они смогут освоить программирование и теорию автоматического управления, использующиеся в реальных технических системах.

### **Использование платформы Arduino в образовательной робототехнике**

**Кобак Антон Александрович,**

педагог дополнительного образования, ФМЛ №239

Что такое Arduino? Причины популярности платформы Arduino во всем мире, возможности для использования в образовании. Опыт преподавания программирования микроконтроллеров на примере Arduino в рамках курса робототехники в ФМЛ 239. Пример использования микроконтроллеров Arduino для управления роботом. Иерархическая система подчинения контроллеров. Способ передачи данных между двумя платами Arduino, использование одного USART порта для управления несколькими устройствами, способ борьбы с некорректными данными, структура передаваемой команды. Решения от российской компании Амперка для быстрого старта в мир Arduino. Учебное пособие и образовательный набор Амперка как готовый курс для

школьных преподавателей и педагогов дополнительного образования.

### **Scratchduino. Робоплатформа и Scratchduino.**

#### **Лаборатория - свободные проекты для образования.**

**Фролов Павел Андреевич,**

генеральный директор ГНУ «Линуксцентр» (ЗАО «Мезон»)

Сотрудники ЗАО «Тырнет» разработали конструктор для обучения детей основам программирования и робототехники. Проект по созданию свободной электроники ScratchDuino, поддержанный Фондом содействия, прошел апробацию в 2012 году и готов к реализации изобретений на российском и международном рынках.

Название состоит из двух частей: Scratch как основной язык программирования и Duino - производная от Arduino - проекта создания свободных микроэлектронных узлов. Все разработки компании базируются на основе микроконтроллеров Arduino.

### **Использование LEGO Education в образовательной программе университета Кэмбриджа**

*Oliver Armitage,*

PhD, Cambridge University, United Kingdom

Доклад включает в себя описание курса робототехники в Кэмбриджском университете, описание задач, которые решаются с помощью продукции LEGO Education, примеры работ и моделей, создаваемых студентами.

## **Проблемы организации кружков радиоэлектроники, ориентированных на изучение робототехники**

**Хромихин Дмитрий Андреевич,**

педагог дополнительного образования ГБОУ ДОД ДДТ «Преображенский», студент 4-ого курса  
БГТУ им. Д.Ф. Устинова «ВОЕНМЕХ»

В докладе рассматривается отличие подходов при преподавании кружков радиоэлектроники и робототехники, в связи с более разносторонним обширным материалом последнего. Проблемы организации кружков робототехники с включенными в программу элементами радиоэлектроники с точки зрения материально-технического обеспечения. Реализация комплексного подхода при преподавании.

### **Кибернетический конструктор ТРИК: новые возможности школьной робототехники**

**Лучин Роман Михайлович,**

н.с., преподаватель кафедры теоретической кибернетики  
математико – механического факультета СПбГУ

В настоящий момент возникла острая необходимость в использовании оборудования и программного обеспечения российского производства в области образования. Правильно выстроенный процесс обучения, знакомство с высокотехнологичными инструментами, начиная с 4-5 класса, с продолжением в вузе или техникуме, позволит выпускать специалистов уже готовых к работе с высокотехнологичным оборудованием (разработке высокотехнологичного оборудования) российского производства. Причём навыки работы можно уже закладывать в школе. Таким образом, назрела идея создания нового конструктора, существенно превышающего по возможностям существующие аналоги, который можно было бы применять сквозным образом,

в цепочке: младшие школьники → старшие школьники → студенты техникумов и колледжей → студенты вузов → промышленное прототипирование.

Исходя из имеющегося опыта использования робототехнических конструкторов в процессе подготовки студентов и школьников, сотрудники кафедр теоретической кибернетики и системного программирования математико-механического факультета СПбГУ разработали образовательный конструктор с универсальным контроллером (ТРИК) нового поколения. Данный контроллер работает на современных операционных системах, позволяет оперировать с большим количеством датчиков и моторов, взаимодействует через WiFi/Bluetooth протоколы, поддерживает модули расширения ГЛОНАСС/GPS и GPRS, позволяет обрабатывать аудио и видео информацию на борту в режиме реального времени. При классическом образовательном подходе изучение каждой из упомянутых технологий занимает существенное время даже у студентов в вузе. Однако, второй составной частью проекта является высокоуровневая среда визуального программирования QReal:Robots способная инкапсулировать в себе генерацию необходимого кода, предоставив пользователю простой, интуитивно понятный интерфейс программирования. Таким образом, практически при минимальной подготовке, школьники и студенты получают возможность, описывая высокоуровневую диаграмму поведения, создавать роботов, которые могут слушать, видеть и говорить, оставив технические тонкости программирования автоматизированным системам. Примерно этот же подход мы можем наблюдать в современных смартфонах, когда пользователь не имея представления о его внутреннем устройстве, может им профессионально пользоваться. Эта концепция (мощный контроллер + ПО автоматизации) позволяет сосредоточиться на техническом творчестве с богатейшим арсеналом современных алгоритмов, выводя процесс создания моделей роботов на качественно новый уровень.

**Организационно—методические особенности проведения занятий кружка «Физика роботов» с детьми младшего школьного возраста.**

**Соколов Владимир Юрьевич,**  
педагог дополнительного образования  
ОДОД ГБОУ средняя школа №314  
Фрунзенского района г. Санкт-Петербурга

С начала этого учебного года в нашей школе начались занятия кружка «Физика роботов». При этом контингент занимающихся оказался существенно моложе ребят, посещающих занятия в ДДТ «Преображенский»: 3-4 классы вместо 5-7-х. Это потребовало пересмотра структуры занятия и позволило, с учётом опыта прошлого года, систематизировать вопросы организации его соревновательной части. В докладе рассматриваются вопросы распределения времени занятия с учетом возрастных особенностей учащихся и организации соревнований, проводимых при изучении различных тем, приводятся примеры «полей» для различных моделей и «регламентов». Кроме того рассматривается система оценки и фиксации личных достижений учащихся. Предлагаемые разработки могут быть интересны также преподавателям, работающим с детьми и более старшего возраста.

**Использование метода развивающего обучения в курсе робототехники для младших подростков, и влияние развивающего обучения на развитие и самоопределение учащихся.**

**Гущин Леонид Олегович,**  
преподаватель робототехники политехнического отделения  
ГБОУ СО Дворец молодёжи

В условиях современной гуманистической педагогики основной целью обучения является осознанное развитие личности ребенка. Для реализации такого подхода в курсе робототехники предлагается метод развивающего обучения.

Для реализации данного метода предлагается следующая структура занятия: повторение материала, изучение нового механизма (теория), задание по сборке данного механизма (практика), изучение области применения механизма (теория, взаимосвязь с реальностью), задание на сборку модели с использованием данного механизма (практическое задание высокого уровня сложности).

Основная задача педагога в процессе выполнения задания – оказывать стимулирующее воздействие. Педагог не дает готовых решений, он учит ребенка самому искать эти решения: «обрати внимание», «подумай какую деталь здесь лучше использовать» и т.д.

Таким образом, опираясь в процессе обучения на логическое мышление, мы стимулируем его развитие. Ребенок учится думать, формулировать проблему, создавать логические цепочки и предвидеть результат своей деятельности.

## Автоматизация железной дороги «Ріко» средствами «Lego» на уроках технологии

**Евгеньев Александр Олегович**

Заместитель директора по УВР (ИКТ), преподаватель физики,  
информатики и технологии  
ГБОУ СОШ № 111 г. Санкт-Петербурга

В ГБОУ СОШ робототехника преподаётся в качестве предмета «технология» (2 часа/нед.). Первый год обучение предполагает знакомство учащихся с основными системами приводов и их использование с начальными навыками в области программирования.

По итогам обучения в течение четырёх месяцев учащимся были предложены практические самостоятельные задания. В качестве средства выбрана полностью аналоговая железная дорога «Ріко» с техническими заданиями для её полной автоматизации (предполагается, что после запуска поезда руки человека не прикасаются к пульта управления). В докладе приведены задания, выданные учащимся.

1. Пассажирская станция. Поезд подъезжает к станции, останавливается на указанное время и после сигнала управления движется дальше. Дополнительное задание: Останавливается только пассажирский проезд, товарный проезжает станцию без остановки.
2. Товарная станция. Поезд подъезжает к станции, переводится стрелка с собранным учащимся пневматическим приводом, поезд направляется на запасной путь под погрузку. Дополнительное задание: На запасной путь направляется товарный поезд, пассажирский следует дальше.
3. Шлагбаум с пневматическим приводом. Собирается переезд с двумя шлагбаумами, автоматически закрывающийся при подходе поезда и открывающийся при проходе поезда. Дополнительное задание: Переезд работает независимо от того, с какой стороны подходит поезд.

4. Шлагбаум с приводом, основанным на червячной передаче. Собирается переезд с двумя шлагбаумами, автоматически закрывающийся при подходе поезда и открывающийся при проходе поезда. Дополнительное задание: Переезд работает независимо от того, с какой стороны подходит поезд.
5. Свободный путь. Система определяет свободный путь и переводя стрелку (механическая реечная передача)<sup>1</sup>. Дополнительное задание: Если заняты оба пути, поезд ожидает, пока освободится хотя бы один из них, и следует по нему.
6. Главная дорога. Если два поезда одновременно подходят к пересечению путей, поезд, двигающийся по второстепенному пути, останавливается и пропускает тот, который движется по главному. Дополнительное задание: Пропускает тот поезд, который подошёл к пересечению позже.

Кроме того на дополнительных занятиях разрабатывались следующие задания:

1. Расписание. Железнодорожный путь при помощи стрелок собирается так, что возможны различные маршруты. Составляется расписание: первый поезд движется по первому маршруту второй – по второму и т.д. Система сама считает поезда по их прохождению первой станции.
2. Поезд подходит к тупиковой станции, останавливается и начинает двигаться в противоположном направлении.
3. Снегопад. Если на железнодорожные пути выпал снег, поезд замедляет ход, если пути без снега, скорость увеличивается.



## **Мастер-класс «Роботы-манипуляторы»**

**Филиппов Сергей Александрович,**

учитель, методист, педагог дополнительного образования,  
руководитель центра робототехники  
Физико-математического лицея №239 Санкт-Петербурга

Использование манипуляторов стало обыденным явлением еще в 20-м веке. На сегодняшний день ни одно крупное промышленное производство не обходится без них. Кроме того, манипуляторы устанавливаются и на мобильных роботах, чтобы расширить возможности управления в труднодоступных для человека местах. При однообразных и монотонных действиях робот также может заменить человека, например, раскладывать пирожные по корбочкам.

На мастер-классе рассматриваются принципы построения и управления роботом-манипулятором с использованием конструктора Lego Mindstorms NXT. Последовательное повышение сложности робота от одиночной стрелы до трехмоторной системы с захватом и усиливающей передачей позволяет учащимся освоить все уровни сложности конструкции.

Точное позиционирование является одной из ключевых характеристик робота-манипулятора. Современные промышленные модели достигают точности 0,5 мм при длине «руки» манипулятора до 2000 мм. Немаловажную роль также играет плавность движения. Для решения этих задач предлагается использовать простейшие алгоритмы, основанные на теории автоматического управления.

Предлагаемые решения доступны учащимся 2-3 года обучения, как в рамках уроков технологии, так и на кружках робототехники.

## **РОБОТОТЕХНИКА:**

**инженерно-технические кадры инновационной России.  
Программа выявления и продвижения перспективных кадров  
для современного производства**

**Пронькин Виктор Николаевич,**

заместитель генерального директора  
фонда Олега Дерипаска «Вольное Дело»,  
Программы «Робототехника: инженерно-технические кадры инновационной России»

В 2008 году по инициативе Фонда Олега Дерипаска «Вольное Дело» и Федерального агентства по делам молодежи начата реализация Программы «Робототехника: инженерно-технические кадры инновационной России». Программа представлена В.В. Путину и Д.А. Медведеву, отчет о ходе выполнения Программы был заслушан в Администрации Президента РФ. Программа поддержана Министерством образования и науки РФ, Агентством стратегических инициатив.

### *Цели Программы*

- вовлечение детей и молодежи в техническое творчество, обеспечение равного доступа к современным технологиям и инновациям;
- выявление, обучение, отбор и дальнейшее сопровождение талантливой молодежи – будущих инженерно-технических кадров для современных отраслей народного хозяйства;
- поощрение молодежного предпринимательства в сфере инноваций и высоких технологий.

### *Механизм Программы*

Программа представляет собой систему многоуровневого непрерывного практического обучения в сфере высоких технологий, охватывающую детей, подростков и молодежь в возрасте от 6 до 30 лет. В рамках Программы создаются региональные

ресурсные центры, которые обеспечиваются базовым робототехническим конструктором-лабораторией, комплексным обучением, учебно-методическими материалами, консультациями, организационной помощью.

Движущий «инструмент» и стержень Программы – общероссийская система инженерно-технических соревнований детей и молодежи в сфере высоких технологий, завершающихся Всероссийским робототехническим фестивалем «РобоФест», который одновременно является национальным финалом для ряда международных робототехнических состязаний: FIRST, WRO, ABU ROBOCON, ELROB. «РобоФест» является крупнейшим мероприятием по робототехнике для детей и молодежи за всю историю России (V РобоФест-2013 собрал 1,5 тыс. участников из 42 регионов России и 4 стран). С 2010 года впервые в России проводятся соревнования автомобилей-роботов «Робокросс».

В настоящее время в программе «Робототехника» зарегистрированы более 10 000 участников из 46 регионов России.

#### *Достоинства Программы*

- Для детей, подростков и молодежи от 6 до 30 лет (вне зависимости от места проживания, формального уровня образования): доступ к самым передовым технологиям; возможность овладения современными компетентностями в рамках инновационных программ обучения; возможность публичной демонстрации своих навыков; возможность трудоустройства и открытия собственного дела в инновационной сфере.

- Для учреждений образования: внедрение современных программ практического обучения, оснащенных передовой техникой и технологиями; повышение квалификации педагогов; укрепление связей с бизнесом.

- Для бизнеса: уникальная программа обучения и привлечения перспективных кадров; решение вопросов автоматизации и роботизации производства; доступ к самым передовым технологиям; укрепление связей с учебными заведениями; участие в эффективной программе социальной ответственности.

- Для регионов и страны в целом: удовлетворение потребностей в высококвалифицированных кадрах, восстановление престижа инженерно-технических профессий в глазах молодежи, формирование будущей инженерно-технической элиты, содействие становлению России как инновационной державы.

#### **Кратко о 3d принтере - как инструменте материального воплощения технических идей**

Давидович Дмитрий Наумович,  
Генеральный директор производственной студии  
«Живые машины»

Принципы современного научно технического творчества школьников:

- не бояться мечтать,
- уметь отчетливо представлять всю технологическую цепочку изготовления своей технической идеи,
- владеть основами компьютерного моделирования,
- иметь смелость трансформировать имеющиеся детали и додумывать новые.

Благодаря использованию 3d принтера возникает возможность создать площадку для эффективных мозговых шуток школьников: где мечты о роботах способны быстро превратиться в цифровые модели, чертежи и также быстро получить реальное исполнение на 3d принтере - и это будет новый уровень в техническом творчестве школьников.

Параллельное обучение преподавателей и привлечение родителей.

Особые акценты использования 3d принтера в техническом творчестве школьников:

- достижение "Lego-совместимость" и расширение "Lego-стиля"
- создание с помощью 3d печати вбирающих lego-каркасов, модифицированных Lego-деталей,

- предварительные макеты в формате "мини"- высоко вариативный дизайн - лица, руки, корпуса, атрибуты, элементы декора - совмещение с лазерной резкой - всегда можно переводить детали из 3d в 2d,
- возможность переводить наиболее удачные экземпляры в малые серии из отлитых деталей.