

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА

УДК 372.853:371.68
ББК 4426.223-268.4

ГСНТИ 14.25.07

Код ВАК 13.00.02

Ершов Михаил Георгиевич,

учитель физики и информатики МАОУ «Средняя общеобразовательная школа № 135 г. Перми», соискатель кафедры мультимедийной дидактики и информационных технологий обучения Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета; 614017, г. Пермь, ул. Старцева, 9; e-mail: er4@tambler.ru.

РОБОТОТЕХНИКА КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ В КУРСЕ ФИЗИКИ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: роботостроение, техническая культура, обучение физике, образовательная робототехника.

АННОТАЦИЯ. В статье осуждаются инновационные тенденции развития современной техносферы. Робототехнические системы рассматриваются как ее важные составляющие. Отмечается рост темпов внедрения робототехники в различные сферы социальной жизни. Это приводит к глобальным изменениям современной инфраструктуры и существенно влияет на образ жизни людей. Для существования человека в роботизированной среде востребован новый уровень его технической культуры. Знание основ робототехники становится в этой связи одним из базовых элементов образования. Обсуждается проблема содержания подготовки учащихся средней школы в области робототехники. Указаны основные факторы, определяющие ее решение. Подчеркивается важность разработки комплексной образовательной программы, учитывающей возможности разных предметов в изучении основ робототехники. Рассматриваются особенности изучения робототехники в курсе физики. Сформулированы цели изучения и определены основные вопросы учебной программы. Раскрывается уровневая структура кибернетической модели робота. Это позволило автору определить учебные темы курса физики для изучения робототехнических систем. Обсуждаются связи учебных задач каждой темы с изучением элементной базы роботов. Рассматриваются способы изучения. Приведены примеры их применения в учебном процессе.

Ershov Mikhail Georgievich,

Teacher of Physics and Computer Science, Secondary School # 135, Perm, Russia.

ROBOTICS AS AN OBJECT OF STUDY IN THE COURSE OF PHYSICS IN SECONDARY SCHOOL

KEY WORDS: robotics; technical culture; physics education; educational robotics.

ABSTRACT. The article discusses the innovative trends of modern technosphere. Robotic systems are considered as its important components. An increase in the rate of introduction of robotics in various spheres of social life is marked. This leads to global changes in modern infrastructure and significantly affects the way people live. To live in a robotic environment demands a new level of technical culture. In this regard, the knowledge of fundamentals of robotics becomes one of the basic elements of education. The article discusses the problem of the content of training of secondary school students in the field of robotics. The main factors that determine its solution are identified. The author emphasizes the importance of developing a comprehensive educational program that takes into account the possibility of different subjects in the study of the fundamentals of robotics. The article also deals with the features of the robotics study in a course of physics and formulates the aims of such study and key issues of the curriculum. The tier structure of a cybernetic model of the robot is revealed. All this allows the author to define the main topics of the course of physics for the study of robotic systems. The connection of educational aims of each topic with the study of the elemental base of robots is discussed. The author describes the methods of study and provides examples of their use in the educational process.

Преобразования в современной техносфере и обновления технической деятельности социума непременно должны находить отражение в содержании школьного образования. Обучение должно быть ориентировано на формирование знаний, умений и компетенций, позволяющих молодому поколению успешно интегрироваться в современные социотехнические системы, эффективно поддерживать и развивать научно-технический потенциал общества. Совершенствование содержания политехнического обучения должно осуще-

ствляться в направлениях технической инноватики. Одним из таких направлений является роботостроение.

В мировой системе образования робототехника (РТ) фигурирует уже более 15 лет. Активность российских школьников в робототехническом творчестве существенно возросла лишь в последние 6–7 лет. Содержательные, методические и технические аспекты организации занятий по робототехнике обсуждаются в работах учителей, педагогов дополнительного образования, методистов и инженеров. Это работы Д. А. Каширина, Н. Д. Фе-

доровой, М. В. Ключниковой, Н. А. Криволаповой, Л. Г. Белиовской, А. С. Филиппова, Д. Г. Копосова, С. Я. Вязовова, О. Ю. Калягиной, К. А. Слезина, В. Н. Халамова и некоторых других [1; 2; 4; 5; 7; 13; 14 и др.]. Абсолютное большинство публикаций ориентировано на поддержку системы дополнительного образования.

Взгляд на образовательную робототехнику как на средство формирования инженерного мышления школьников, развития их интереса к техническому творчеству, стимулирования выбора инженерных профессий и рабочих специальностей является на сегодня достаточно распространенным. Эта позиция не вызывает возражений, но на практике, по нашему мнению, не в полной мере учитываются тенденции научно-технического прогресса, в частности глобальные изменения, назревающие в современной техносреде. Прежде всего это стремительное развитие роботостроения и массовое внедрение робототехнических систем в различные сферы социальной практики (промышленность, военное производство, науку и культуру, сервис и быт). Роботы «уже стали частью новой промышленной революции». Ее основные черты – это роботизация производства и широкое внедрение роботов в социальную сферу. Робототехника определяет эффективность развития любой индустрии. Это наше «настоящее будущее», в котором формируется специализированная инфраструктура. Следствием ее появления станут глобальные социокультурные изменения [10, с. 23]. Человек очень скоро перестанет делать все то, что является опасным для его здоровья, передаст роботам все службы, которые он выполняет менее эффективно, а также работу, которой просто не хочет заниматься (Я. Ноф) [6]. Следствия будут носить глобальный характер, сравнимый с научно-технической революцией, определившей начало эры информатизации. Будет востребован следующий за IT-компетентностью уровень развития технической культуры человека, определяемый условиями его жизни в роботизированной техносреде [8; 9].

Есть основания предполагать, что в этих условиях знание основ робототехники станет базовым элементом образования молодежи и будет включено в содержание учебных программ средней школы. Соответствующие решения на государственном уровне уже принимаются в ряде стран. Так, для систем образования США и Великобритании являются приоритетными целенаправленная подготовка школьников (и даже детей дошкольного возраста) в области информатики и робототехники, формирование у них практической готовности к выполнению различных технических проектов [12].

В нашей системе образования преимущественно развивается конкурсная и соревновательная робототехника, растет количество досуговых мероприятий, в которых принимают участие лишь увлеченные техническим творчеством школьники. Справедливости ради надо отметить, что элективные курсы по образовательной робототехнике уже заняли свое место в учебных планах ряда средних общеобразовательных школ в некоторых регионах России.

Необходимо сформулировать общую концепцию внедрения робототехники в систему среднего образования, которая должна заложить основы системной подготовки в России будущих производителей и потребителей услуг роботизированной социальной среды.

Роботостроение, как известно, является междисциплинарной областью знания. Поэтому подходы к внедрению робототехники как объекта изучения в системе школьного образования не вполне очевидны. Могут быть предложены разные педагогические и организационные решения. Назовем основные факторы, которые должны быть учтены, на наш взгляд, при разработке моделей внедрения робототехники в образовательную программу средней школы: 1) стремительное развитие робототехники как области научно-технического знания, высокие темпы роботостроения и массовый характер внедрения робототехнических систем в современную техносреду, многообразие видов роботов и широкий спектр областей их применения; 2) необходимость знания основ робототехники как условия адаптации и интеграции человека в современную техносреду; 3) важность изучения вопросов философии и методологии робототехники как условия понимания общих тенденций ее развития и социальных следствий; 4) междисциплинарность робототехники как объекта изучения; необходимость согласования предметных программ обучения как условия качественного освоения учащимися теории и практики создания и использования робототехнических систем; 5) необходимость практической подготовки учащихся к моделированию и конструированию простейших роботов; 6) соблюдение преемственности учебных программ разных уровней образования; 7) необходимость дифференцированного подхода к обучению, выявления одаренных учащихся, их поддержки в рамках программ индивидуального развития; 8) связь содержания предметного обучения с внеурочной работой, конкурсной и соревновательной деятельностью, посвященной робототехнике; создание творческих коллективов учащихся, их ориентация на инновационные решения в области образовательной робототехники.

Элементы системы знаний по робототехнике должны быть встроены в программы ос-

новых учебных курсов (физики, информатики, математики, технологии и др.), представлены в системе курсов по выбору и элективных курсов в основной и старшей школах, учтены в программах факультативных курсов и внеурочной работе учащихся. В итоге должна быть подготовлена комплексная программа, направленная на достижение главной цели внедрения РТ в систему школьного образования – обеспечение уровня развития технической культуры выпускников школы, необходимого для их эффективного существования в роботизированной техносреде ближайшего будущего.

Важно сформулировать общую концепцию применения образовательной робототехники в обучении физике. Ее разработка должна начинаться с осмысления целей применения РТ в учебном процессе по предмету. К ним относятся:

1) демонстрация возможностей робототехники как направления технической инноватики и средства преобразования современной техносреды;

2) демонстрация роли физики как науки в создании робототехники;

3) повышение качества обучения:

- расширение и углубление предметных знаний;
- систематизация знаний, осознание взаимосвязи наук и учебных дисциплин (физики, математики, информатики, химии, биологии и др.);
- развитие представлений о современном физическом эксперименте как методе познания, формирование умений и навыков постановки *роботизированного эксперимента*;
- совершенствование политехнической подготовки средствами образовательной робототехники:
 - расширение и углубление знаний в области прикладной физики;
 - формирование практических умений в сфере технического моделирования и конструирования (при подготовке роботизированных физических экспериментов, проектировании и создании технических объектов как практических приложений физики);
 - развитие технической культуры учащихся в области роботостроения и потребления услуг роботизированной техносреды;

4) развитие мотивации изучения физики и ее технических приложений;

5) усиление профильной подготовки учащихся, их профессиональная ориентация на естественнонаучные и инженерно-технические специальности.

Основными составляющими программы обучения по робототехнике должны стать:

1) сведения об истории развития роботостроения и его перспективах, места и роли робототехнических систем в современной техносреде; 2) основы философии и методологии робототехники (общей, специальной): понятие «робот», отличительные признаки робота как объекта; виды роботов; законы робототехники, кибернетическая модель робота, основные подходы к проектированию робототехнических систем, включая компьютерное и натурное моделирование; 3) современные решения и технологии в области конструирования и программирования роботов: обеспечение физических манипуляций и таких свойств, как «осознание», «обоняние», «зрение», «слух», «речь», «память», «нервная система», искусственный интеллект; проектирование групповых роботов (распределенных робототехнических систем) и применение с целью организации их взаимодействия различных средств связи; моделирование и программное обеспечение поведения гуманоидных роботов [11].

Возникает вопрос, какая часть данной программы должна стать предметом изучения на занятиях по физике и каков уровень глубины ее освоения. Для ответа на этот вопрос рассмотрим кибернетическую модель робота (рис. 1). Робот с точки зрения теории управления включает три основные системы: *управления, исполнения и сбора данных*. Каждая из них реализуется с помощью собственной элементной базы. Заметная часть явлений и законов, обеспечивающих работу этой базы, изучается в школьном курсе физики. Это позволяет вполне успешно иллюстрировать техническое приложение физики на примере создания и функционирования различных робототехнических систем.



Рис. 1. Кибернетическая модель робота

Для анализа содержания школьного курса физики в аспекте его возможностей для изучения основ робототехники воспользуемся представлениями о структуре элементной базы РТ (рис. 1). В нашем исследовании проанализированы основные части и принцип действия устройств, реализующих работу каждой системы. В итоге составлены таблицы с указанием основных физических явлений и законов, на основе которых может быть раскрыт принцип работы данных устройств, приведены соответствующие темы курса физики. Фрагменты этих таблиц приведены ниже (см. табл. 1 и 2).

Таблица 1 Изучение исполнительных устройств робота в школьном курсе физики (фрагмент)

Группы	Элемент робота	Физическое явление, закон, объект техники	Тема курса физики	Класс
1	2	3	4	5
Приводы	Электродвигатель	Электродвигатель постоянного тока	Электромагнитные явления	8
		Шаговый электродвигатель	Электромагнитные явления	8, 11
		Вибродвигатель	Электромагнитные явления	8
		Электродвигатель переменного тока	Производство, передача и использование электрической энергии	11
	Гидравлический привод	Закон Паскаля, гидравлический пресс	Давление твердых тел, жидкостей и газов	7
	Пневматический привод	Закон Паскаля	Давление твердых тел, жидкостей и газов	7
Промежуточные передачи	Передачи зацеплением	Изменение угловой скорости вращения	Кинематика движения по окружности. Вращение твердого тела.	9
	Передачи трением	Трение покоя	Силы в механике. Сила трения	7, 9
	Блоки, винтовая и червячная передача	Золотое правило механики	Простые механизмы	7
	Опоры: шарнир, подшипник, шаровая опора и др.	Трение скольжения, качения. Вязкое трение	Силы в механике. Сила трения	7, 9
	Сложные механизмы	Прямолинейное и криволинейное движение	Кинематика	7, 9, 10
Рабочие органы	Манипуляторы, захваты, держатели, колёса, гусеницы	Движение по прямой и криволинейной траектории. Механизмы захвата и удержания тел	Кинематика. Динамика. Статика.	7, 9, 10

Таблица 2. Изучение устройств обратной связи в курсе физики (фрагмент)

Элемент робота	Физическое явление, закон	Тема курса физики	Класс
1	2	3	4
Датчик магнитного поля	Эффект Холла	Основы электродинамики	11
Датчик расстояния	Распространение и отражение ультразвука	Механические колебания и волны	9, 10
Датчик освещенности	Фоторезистор	Электрический ток в различных средах	11

К устройствам управления относятся микроконтроллеры, микропроцессоры, компьютеры и дополнительная аппаратная техника. С помощью этой техники, различных языков и сред программирования составляются программы для управления исполнительными устройствами, обеспечивается взаимодействие между элементами робототехнических систем. Работа управляющих устройств рассматривается в курсе информатики. В курсе физики изучаются принципы работы элементов электронной техники (ре-

зисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, полупроводниковых элементов и пр.), а также научные основы процессов приема, усиления и передачи радиосигналов.

Представляет интерес уровневый подход к изучению робота как сложного кибернетического и технического объекта. Соотношение уровней представлено на рис. 2. Выделено четыре уровня, но отдельные элементы системы «робот» могут иметь более длинную «линейку» уровней.

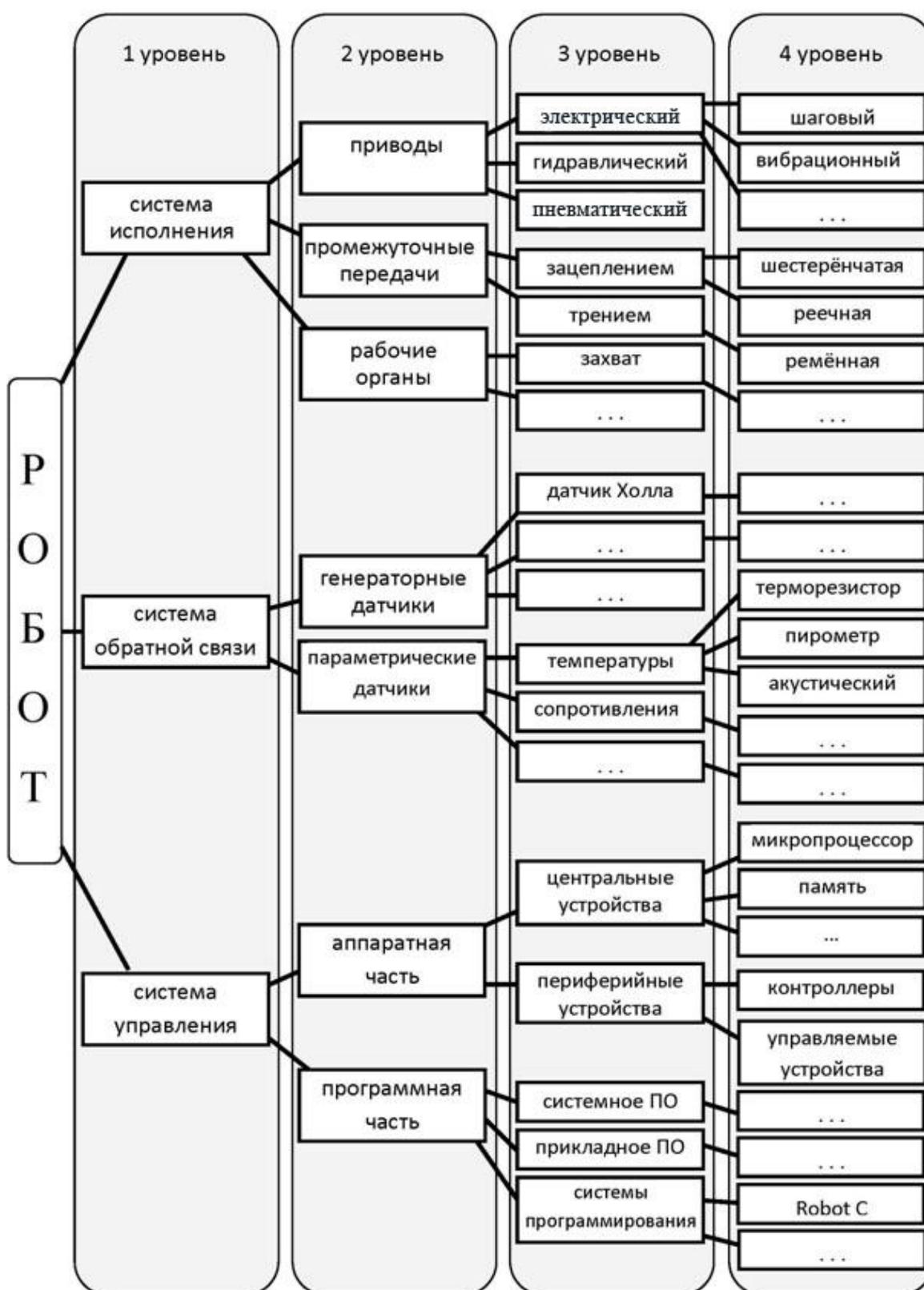


Рис. 2. Уровни изучения робота

Уровневая элементная база робота образует его своеобразную «корневую» систему, имеющую сложную разветвленную структуру. Первый и второй ее уровни соответствуют

принятию общих проектных решений, связанных с выбором и комбинацией преимущественно готовых узлов будущей конструкции робота. Третий уровень связан с пониманием

особенностей физической модели робота и способов обеспечения его функционала. Четвертый уровень – это «тонкая» элементная структура робота, от выбора и качества которой зависит точность и эффективность исполнения роботом необходимых функций. Это уровень, на котором необходимо осмысление физических основ работы систем робота и алгоритмов этой работы. На этом уровне инженер-конструктор, инженер-технолог и инженер-программист могут менять элементную базу роботов, добавлять в нее новые составляющие.

Проникновение в «глубины» робототехнического моделирования определяется не только уровнем готовности учащихся к этой деятельности, но и качеством набора по робототехническому конструированию, который они используют. В частности, наборы Lego MINDSTORMS ориентированы на работу учащихся в основном на 1–2 уровнях, отчасти третьем [12]. Но, например, конструктор «Апмерка» позволяет учащимся работать на четырех уровнях.

Освоение уровней проектирования и конструирования систем робота позволяет школьникам двигаться в направлении создания роботов различных видов. Видовое разнообразие роботов уже сейчас поражает воображение. Выделяют разные основания классификации: *по областям применения* – промышленные, военные, исследовательские, сервисные (служебные); *среде обитания* (эксплуатации) – наземные, подземные, надводные, подводные, воздушные, космические; *степени подвижности* – стационарные, мобильные, смешанные; *типу системы управления* – программные (цикловые, позиционные, контурные), адаптивные, интеллектуальные; *функциональному назначению* – манипуляционные, транспортные, информационные, комбинированные; *типу приводов* – электрические, гидравлические, пневматические; *типу движителя* – гусеничные, колесные, колесно-гусеничные, полугусеничные, шагающие, колесно-шагающие, роторные, с петлевым, винтовым, водометным и реактивным движителями; *конструктивным особенностям технологического оборудования* (например, по числу манипуляторов); *по грузоподъемности манипуляторов* (сверхлегкие, легкие, средние, тяжелые, сверхтяжелые); *системе координат рабочей зоны* (линейная, угловая); *типу источников первичных управляющих сигналов* – электрические, биоэлектрические, акустические; *способу управления* – автоматические, дистанционно управляемые (копирующие, командные, интерактивные, супервизорные), ручные (шарнирно-балансирные, экзоскелетонные); *уровню универ-*

сальности – специальные, специализированные, универсальные; *типу базовых элементов систем управления* – пневматические, электронные, биологические; *возможности реконфигурации* – моно- и полиморфные роботы (последние делятся на однотипные модульные и *N*-модульные системы) [3; 16 и др.]. На настоящем этапе развития робототехники роботов стали подразделять еще и на *миниатюрных*, *сверхминиатюрных* и *предназначенных для нанотехнологий*. Выделяют группу *роботов-гигантов*. Видовое разнообразие роботов можно сравнить с кроной дерева – единой структуры элементной базы роботов при разветвленной корневой системе отдельных элементов.

На уроках физики при рассмотрении технических приложений науки целесообразно изучать те виды роботов, в основе действия которых лежат физические явления и законы соответствующей учебной темы. Хорошо просматривается связь учебных задач практически каждой темы курса физики с изучением устройства и принципа действия различных робототехнических систем. Это могут быть: 1) технические объекты, применяемые в различных сферах деятельности общества; 2) роботизированные установки учебного физического эксперимента. Реализовать предложенное изучение можно разными способами.

Первый способ (демонстрационный). Следует первоначально пояснить учащимся устройство робототехнической конструкции, предъявляемой им для изучения. Затем обсуждаются физические основы работы ее элементной базы. Далее демонстрируется функционал робота на его действующей модели. Данным способом, например, могут изучаться роботы, предназначенные для подводных исследований. Физика их основного функционала вполне доступна пониманию учащихся. Можно продемонстрировать роботизированные установки для физического эксперимента (например, для изучения закономерностей колебания пружинного маятника, явления резонанса, законов сухого трения и др.). Учитель при обсуждении эксперимента обязательно разъясняет физические основы работы элементной базы этих установок.

Второй способ (проектный). После изучения одной из учебных тем курса физики перед учащимся ставится задача предложить идею конструкции и собрать модель конкретного робота. Например, это может быть модель ядерного реактора. Данная модель должна демонстрировать некоторые элементы устройства реактора, а также процессы передачи тепла в его энергоблоке. На рис. 3 представлен вариант такой модели.

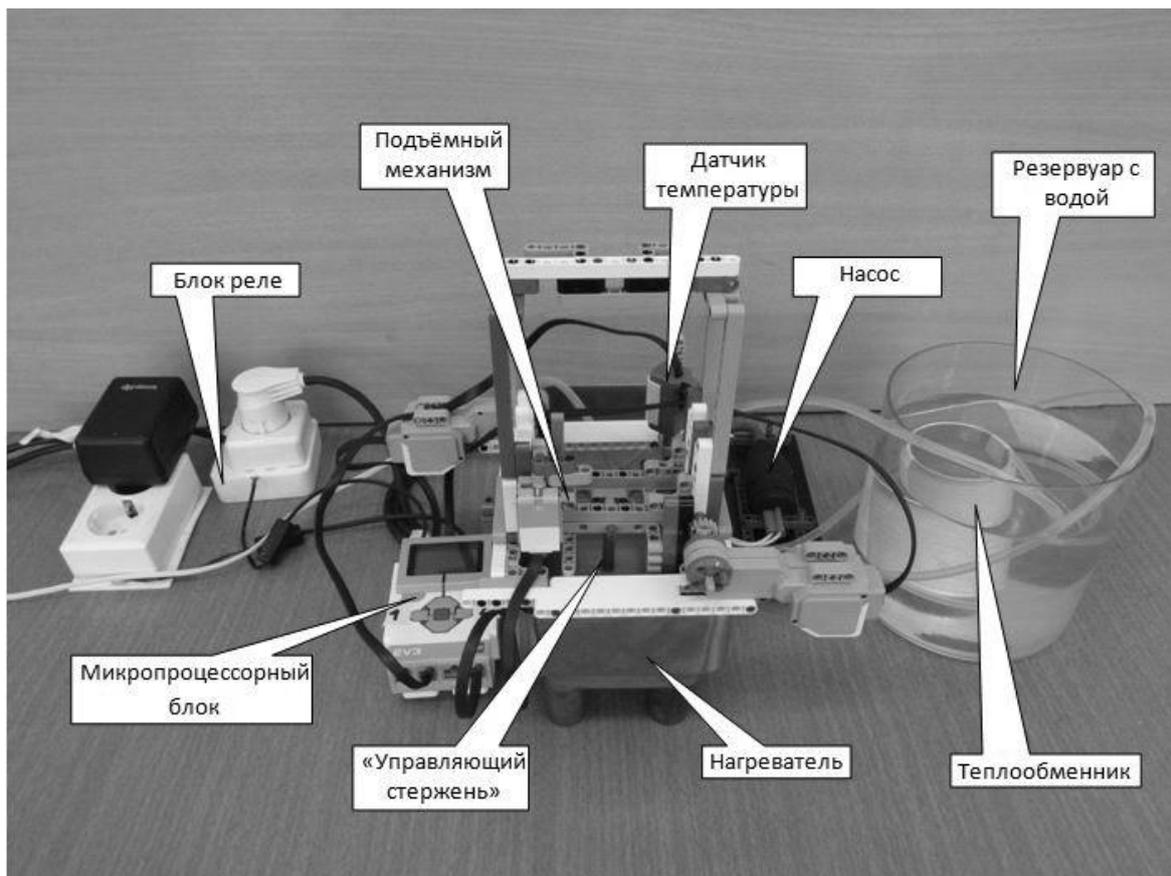


Рис. 3. Модель терморегуляции ядерного реактора и регулировки интенсивности ядерной реакции

Повышение температуры активной зоны реактора имитируется нагреванием воды (с помощью электронагревателя). Вода в данной модели является еще и теплоносителем. Температура «активной зоны» может регулироваться, с одной стороны, нагревом воды, а с другой – ее охлаждением за счет обеспечения циркуляции потоков жидкости между сосудом-нагревателем и внешним сосудом с холодной водой. Циркуляция обеспечивается с помощью насоса. Управление работой нагревателя и насоса осуществляется на программном уровне с помощью микропроцессора через электромагнитное реле. Для обеспечения контроля над температурой в «активной зоне» устанавливается датчик температуры. В верхней части реактора для регулировки активности ядерной реакции монтируется система, которая имитирует движение управляющих стержней. Изначально стержни находятся вне активной зоны. При повышении температуры сверх допустимого значения срабатывает датчик, и стержни опускаются в активную зону, «обеспечивая» снижение интенсивности ядерной реакции. Понижение температуры достигается за счет запуска процесса циркуляции воды. При снижении температуры до

определенного значения вновь срабатывает датчик, и стержни извлекаются из активной зоны. Система управления «реактором» имеет два режима работы: ручной и автоматический. В автоматическом режиме система на программном уровне поддерживает температуру около заданного значения за счет поочередного включения нагревателя и насоса. Значение температуры в «реакторе» выводится на экран микропроцессора.

Проектные задания такого рода следует выполнять с учащимися на уроках технологии. Такая работа возможна в рамках элективного курса или во внеурочной деятельности [15]. Результаты проектной работы впоследствии демонстрируются и на уроках технологии, и на уроках физики.

В заключение отметим, что робототехника в предметном обучении может и должна использоваться не только как объект изучения практического приложения научного знания. Она должна рассматриваться и как эффективный инструмент познания, и как средство обучения, развития и воспитания школьников. Эти направления определяются тремя основными дидактическими функциями робототехники в системе образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белиовская Л. Г. Система LEGO MindstormsNXT в современном физическом эксперименте. URL: http://www.ros-group.ru/content/data/store/images/f_4404_28202_1.pdf (дата обращения: 10.11.2014).
2. Вязовов С. Я., Калягина О. Ю., Слезин К. А. Соревновательная робототехника: приемы программирования в среде EV3: учеб.-практ. пособие. М. : Перо, 2014.
3. Классификация роботов. URL: <http://sa100.ru/Robots/ClassRobotov1.html> (дата обращения: 18.05.2014).
4. Копосов Д. Г. Первый шаг в робототехнику : практикум для 5–6 кл. / Д. Г. Копосов. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.
5. Курс «Робототехника»: внеурочная деятельность : метод. рек. для учителя // Д. А. Каширин, М. В. Ключникова, Н. Д. Федорова. Курган : ИРОСТ, 2013.
6. Ноф Ш. (ред). Справочник по промышленной робототехнике. М. : Машиностроение, 1989.
7. Основы робототехники : учеб. пособие, 5–6 кл. / Д. А. Каширин, Н. Д. Федорова ; под общ. ред. Н. А. Криволаповой. Курган : ИРОСТ, 2013.
8. Оспенникова Е. В. Развитие самостоятельности школьников в учении в условиях обновления информационной культуры общества. В 2 ч. Ч. 2. Основы технологии развития самостоятельности школьников в изучении физики : моногр. Пермь : Электронные издательские системы ОЦНТИ ПГТУ, 2003.
9. Оспенникова Е. В. Развитие самостоятельности учащихся при изучении школьного курса физики в условиях обновления информационной культуры общества : дис. ... д-ра. пед. наук. Пермь, 2003.
10. Параскевов А. В., Левченко А. В. Современная робототехника в России: реалии и перспективы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104 (10). URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/116.pdf> (дата обращения: 09.03.2015).
11. Принцип политехнизма в обучении физике: современная интерпретация и технологии реализации в средней школе : моногр. / Е. В. Оспенникова, И. В. Ильин, М. Г. Ершов, А. А. Оспенников ; под общ. ред. Е. В. Оспенниковой. Пермь : Пермское книжное изд-во, 2014.
12. Физические исследования с Vernier и LEGO Mindstorms NXT: лабораторные занятия по науке и технологиям, проектированию и математике с использованием датчиков Vernier. Бивертон : Vernier Software and Technology (США, штат Орегон), 2009.
13. Филиппов С. А. Робототехника для детей и родителей / С. А. Филиппов. 3-е изд. СПб. : Наука, 2013.
14. Халамов В. Н. [и др.]. Образовательная робототехника на уроках информатики и физики в средней школе : учеб.-метод. пособие. Челябинск : Взгляд, 2011.
15. Шамало Т. Н., Мехнин А. М. Формирование ценностных ориентаций учащихся в процессе политехнической подготовки на уроках и во внеклассной работе по физике // Педагогическое образование в России. 2012. № 5. С. 230–234.
16. Шенк В. Роботы-исследователи на передовых рубежах военных технологий. URL: <http://vpk-news.ru/articles/5061>.

LITERATURE

1. Beliovskaya L. G. Sistema LEGO MindstormsNXT v sovremennom fizicheskom eksperimente. URL: http://www.ros-group.ru/content/data/store/images/f_4404_28202_1.pdf (data obra-shcheniya: 10.11.2014).
2. Vyazovov S. Ya., Kalyagina O. Yu., Slezin K. A. Sorevnovatel'naya robototekhnika: priemy pro-grammirovaniya v srede EV3: ucheb.-praktich. posobie. M. : Izdatel'stvo «Pero», 2014.
3. Klassifikatsiya robotov. URL: <http://sa100.ru/Robots/ClassRobotov1.html> (data obrashcheniya: 18.05.2014).
4. Kopusov D. G. Pervyy shag v robototekhniku: praktikum dlya 5–6 klassov / D. G. Kopusov. M. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2014.
5. Kurs «Robototekhnika»: vneurochnaya deyatel'nost'» (metodicheskie rekomendatsii dlya uchite-lya // D. A. Kashirin, M. V. Klyuchnikova, N. D. Fedorova, Kurgan: IROST, 2013.
6. Nof. Sh (red) Spravochnik po promyshlennoy robototekhnike. M. : Mashinostroenie. 1989.
7. Osnovy robototekhniki: uchebnoe posobie, 5-6 klass / D. A. Kashirin, N. D. Fedorova; pod obshchey red. N. A. Krivolapovoy. Kurgan: IROST, 2013.
8. Ospennikova E. V. Razvitie samostoyatel'nosti shkol'nikov v uchenii v usloviyakh obnovle-niya informatsionnoy kul'tury obshchestva: V 2 ch.: Ch. II. Osnovy tekhnologii razvitiya samo-stoyatel'nosti shkol'nikov v izuchenii fiziki: monogr. Perm': Elektronnye izdatel'skie sistemy OTsNTI PGTU, 2003.
9. Ospennikova E. V. Razvitie samostoyatel'nosti uchashchikhsya pri izuchenii shkol'nogo kursa fiziki v usloviyakh obnovleniya informatsionnoy kul'tury obshchestva: dis.... d-ra. ped. nauk. Perm', 2003.
10. Paraskevov A. V. Levchenko A. V. Sovremennaya robototekhnika v Rossii: realii i perspekti-vy // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstven-nogo agrarnogo universiteta. 2014. № 104(10). URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/116.pdf> (data obrashcheniya 09.03.2015).
11. Printsip politekhnizma v obuchenii fizike: sovremennaya interpretatsiya i tekhnologii realizatsii v sredney shkole: monogr. / E. V. Ospennikova, I. V. Il'in, M. G. Ershov, A. A. Ospennikov; pod obshch. red. E. V. Ospennikovoy. Perm': OOO Permskoe knizhnoe izda-tel'stvo, 2014.
12. Fizicheskie issledovaniya s Vernier i LEGO Mindstorms NKHT: laboratornye zanyatiya po nauke i tekhnologiyam, proektirovaniyu i matematike s ispol'zovaniem datchikov Vernier. Biverton: Vernier Software and Technology (SShA, shtat Oregon), 2009.
13. Filippov S. A. Robototekhnika dlya detey i roditeley / S. A. Filippov. 3-e izd. SPb.: Nauka, 2013.
14. Khalamov V. N. i dr. Obrazovatel'naya robototekhnika na urokakh informatiki i fiziki v sredney shkole: uchebno-metodicheskoe posobie. Chelyabinsk: Vzgl'yad, 2011.

15. Shamalo T. N., Mekhnin A. M Formirovanie tsennostnykh orientatsiy uchashchikhsya v protsesse politekhnicheskoy podgotovki na urokakh i vo vneklassnoy rabote po fizike // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. 2012. № 5. S. 230-234.

16. Shenk V. Roboty-issledovateli na peredovykh rubezhakh voennykh tekhnologiy. URL: <http://vpk-news.ru/articles/5061>.

Статью рекомендует д-р пед. наук, профессор Т. Н. Шамало.