

УДК 547.2/ 66.0

Э. М. Муртазина, Г. Г. Амирова

НАНОНАУКА И СМЕНА ПАРАДИГМ В ОБРАЗОВАНИИ

Ключевые слова: изменения в образовании, междисциплинарные учебные программы, реконструкция образования.

В XXI веке с развитием технологий назрели изменения в образовании и подготовке нового поколения ученых, инженеров и высококвалифицированных рабочих. От современных специалистов и тем более от специалистов будущего требуется гибкий подход к научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (НИОКР). Революционные и синергетические достижения на стыке ранее разделенных областей науки и техники готовят нано-био-инфо преобразования в обучении традиционным дисциплинам, включая фундаментальные науки. Таким образом, смена парадигм в науке неизбежно ведет к смене парадигм в образовании. Должны быть разработаны междисциплинарные учебные программы, интегрирующие нанонауки и нанотехнологии. Это требует реконструкции образования, разработки новых курсов и учебных материалов и подготовки новых преподавателей. В анализируемых работах исследователи оценивают то, как революционные изменения в технологии могут повлиять на систему образования и приводят примеры этих изменений в ведущих университетах мира. Авторы использовали зарубежные англоязычные материалы, представленные в открытой печати в журналах Science, Nature, J. Nanobiotechnology, J. Biomaterials & Nanobiotechnology, а также статьи, выложенные в открытом доступе в Интернет.

Keywords: educational changes, interdisciplinary curricula, revamping the education.

In the XXI century with the development of technologies changes have been maturing in education and training of a new generation of scientists, engineers, qualified workers. The contemporary specialists need to be flexible in R&D approach to the speedy progress in nanosciences and nanotechnology. Revolutionary and synergetic advances at the interfaces between previously separated fields of science, engineering and areas of relevance are ready to create nano-bio-info transforming education. Interdisciplinary curricula relevant for nanoscience and nanotechnology need to be developed. This requires revamping the education, developing new courses and course materials, as well as training new instructors. In the works under consideration the researchers appreciate the revolutionary changes in leading educational centers of the world. The authors used the materials presented in the journals Science, Nature, J. Nanobiotechnology, J. Biomaterials & Nanobiotechnology, as well as the articles from the Internet.

Введение

Развитие каждого общества как социокультурного образования характеризуется определенным содержательным и целевым наполнением, собственной динамикой и направлением развития. В обычных условиях внутри каждого общества естественным образом складываются механизмы образовательной деятельности, адекватные целям, содержанию и направлению развития, что формирует образовательную парадигму данного общества, модернизируемую по ходу его развития [25].

Однако в наше время в связи с объективными процессами глобализации и развития жесткой конкуренции на мировой арене социокультурная идентичность отходит на второй план, уступая приоритет общим закономерностям и тенденциям [2; 26].

Имеются все основания полагать, что знаниево-просветительская парадигма, господствовавшая в образовании на протяжении многих веков, исчерпала свои возможности. Во-первых, объем знаний даже для самой общей ориентировки в нем стал почти непостижимым! Во-вторых, стало ясно, что функция образования далеко не сводится к знаниевому насыщению человека. Переход к личностной парадигме - закономерный итог развития образовательного мышления человека: на смену поверхностно-предметному освоению мира приходит глубоко-смысловое постижение мира. Большинство педагогических теорий и адекватная им образова-

тельная практика ориентировались на достижение студентом определенного стандарта знаний, а не на развитие его как субъекта образования. Под знанием в структуре традиционного образования понималось, как правило, знание основ наук, которое абстрагировалось от контекста будущей жизни и профессиональной деятельности обучаемого [3; 5; 27].

За исторически обозримое время сменилось несколько парадигм образования, каждая из которых на начальном этапе демонстрировала эффективность, которая затем неизменно снижалась, когда она выступала средством ускорения стагнации общества [11].

Развитые экономики в качестве главных активов своего дальнейшего развития и конкурентоспособности своих стран рассматривают два вида ресурсов: Человеческие Ресурсы (HR – Human Resources) и научно-техническую Интеллектуальную Собственность (IP - Intellectual Properties). Чтобы идти в ногу с быстрым ростом науки и технологий, необходимо иметь гибкую систему образования, отвечающего изменению структуры спроса и требованиям времени. Критический анализ экономического роста сегодня и связанного с ним промышленного развития, проведенный К.Адамсом показывает, что для лучшего будущего акцент в образовании должен быть сделан скорее на «творческое мышление и инновации» [1], чем просто на подготовку рабочей силы путем организации соответ-

вующего обучения в различных областях знаний и навыков.

Переход к личностной парадигме связан с решением тончайшей дидактической задачи синтеза знаниево-стандартизированного и личностно-вариативного компонентов образования, с построением образовательной системы нового поколения.

Вопрос смены парадигмы волнует представителей образования на Западе с еще одной точки зрения. Они считают неизбежными кардинальные и всеохватывающие изменения, связанные со сдвигом парадигмы в науке и технологии в результате развития нанотехнологии.

Концепция «Случайного Открытия» как одна из парадигм традиционного развития науки и образования

В современной науке и технологии заметные изменения начали возникать лишь в последние два десятилетия. В прошлом большинство инновационных концепций находили практическое использование, не слишком заботясь о каком-то определенном порядке. Этот подход, известный как концепция «Случайного Открытия», описан в работах Ф. Словичека и Р. Хоффмана [22; 13]. В этом контексте научные принципы, вытекающие из тщательного анализа данного феномена, были опробованы на возможность их практического применения с использованием инженерных навыков. Как только некоторые из них доказали свою применимость в конкретных областях, они, в конечном счете, стали использоваться в связанных с ними технологиях [19]. Технологии, развитые таким образом, были очень малочисленны, существовали почти независимо друг от друга и имели очень мало общего. Классическим примером случайного открытия в науке является открытие рентгеновских лучей Рентгеном.

Гамаль С. Ахмед в своих работах, а также в статьях, опубликованных в материалах международных симпозиумов и конференций по проблемам нанотехнологического образования [8; 9; 10] показывает, что в такую парадигму развития науки и технологии вполне укладывался дисциплинарный подход к образованию.

При этом, задачи образовательного процесса при дисциплинарном подходе всегда определяются потребностями науки и практики, что всякий раз оказывается связанным с существующей на данный момент времени парадигмой, аккумулирующей в себе самые последние, эталонные научные знания.

В то же время при дисциплинарном подходе очень велика роль «авторитетных источников», таких как учебники и различного рода научно-популярная литература, целью которой является приобщение обучаемых к существующей на данный момент времени парадигме. Именно посредством учебников осуществляется процесс овладения специалистом необходимой суммой профессиональных знаний и навыков по той или иной дисциплине. Томас С.Кун, впервые применивший понятие парадигмы и считавший, что научное знание развивается

скачкообразно, посредством научных революций, полагал, что «авторитетные источники» (и, как мы полагаем, дисциплинарный подход в образовании) делают научные революции в некоторой степени «неразличимыми» [16].

Нанонаука: сдвиг парадигм

Перечислим лишь некоторые из технологических прорывов, которые принесла с собой нанонаука.

1. За последние 100 лет стало возможным понять поведение атомов и молекул как строительных блоков. Выявление их коллективных свойств в объемных материалах позволило задействовать их впоследствии в разработке электронных систем с беспрецедентной производительностью.

В частности, чтобы перевести эти понятия в плоскость практической реальности, были получены бездефектные полупроводниковые кристаллические материалы, выращенные из расплава или осажденные эпитаксиально на подходящей подложке из единичного кристалла [7].

Успешное внедрение примеси электронодонорного или электроноакцепторного типа в элементарной форме в точно контролируемом количестве с помощью диффузии и техники ионной имплантации было весьма эффективно использовано для модуляции проводимости полупроводников высокой чистоты.

Получение объемных материалов в сочетании с эпитаксиальным выращиванием, литографией и примесным легированием обеспечило прочную основу для огромного успеха технологии микроэлектроники сегодня [4].

2. В сравнительно недавнем прошлом, Дж.П. Вилкоксон и Б.Л. Абрамс экспериментально доказали, что при высоких энергиях отдельных видов атомов, исходящих из лазерного источника, последние могут конденсироваться в инертной среде с образованием стабильных кластеров различного диаметра [23].

Масс-спектроскопические *in situ* исследования этих атомных кластеров показали, что кластеры ведут себя как искусственные атомы или молекулы.

Последовательность дискретных уровней энергии, вытекающих из квантования электронов в таких кластерах, прежде всего, зависит от их размеров или количества составляющих атомов или молекул, присутствующих в них [20].

3. Это наблюдение породило еще одну, совершенно новую концепцию, согласно которой эти кластеры, скорее всего, должны быть использованы в качестве основных строительных блоков вместо природных элементов периодической таблицы. Простая модель для понимания поведения таких кластеров была предложена С.П. Пулом и Ф.Дж. Оуэнсом, в которой все атомы, присутствующие в кластерах, были объединены в желеобразной структуре, которую называли «джеллиум» [18].

4. Целый ряд теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в последнее время, позволили определить зависимость физических и химических свойств этих кластеров от их размеров,

диаметры которые находятся в диапазоне нескольких нанометров. В то же время, наряду со слабо связанными кластерами, было обнаружено другое семейство молекул, образованных относительно большим числом ковалентно-связанных атомов правильной геометрической формы. Эти крупные молекулы были первоначально обнаружены как углеродные фуллерены и нанотрубки [18].

5. Фуллерены и нанотрубки первоначально были исследованы как углеродные структуры. Однако позже Б. Халфордом было установлено, что они существуют во многих неорганических и органических видах [12]. Чтобы расширить эту возможность и приступить к созданию композиционных материалов, имеющих технологическое значение, естественно было исследовать комбинации с большим разнообразием полимерных молекул. Из большого числа конфигураций полимерных молекул семейство дендримеров оказалось наиболее полезным.

6. Химически синтезированные наноразмерные молекулы могут быть использованы в специфических целях, поскольку они имеют почти сферические структуры с наноразмерными свободными местами внутри и химически изменяемыми функциональными радикалами, связанными с ядром с помощью древовидной конфигурации. Одним из наиболее важных применений этих технологически уникальных молекул - дендримеров является их использование для «целевой доставки лекарств» [21].

Как показали последующие эксперименты, эти наноразмерные структуры химически и физически очень активны и, следовательно, они могут быть сопряжены с целым рядом сложных биомолекул, участвующих в функционировании живых организмов.

7. Желаемые биохимические модификация становятся возможными с помощью взаимодействия свойств, вследствие сопряжения наночастиц, макромолекул и биомолекул. Ранние эксперименты, проведенные в этой области, и описанные целым рядом исследователей, дали весьма отрядные результаты [18; 23; 24].

Концепция наноструктурных строительных блоков, состоящих из кластеров, макромолекул и полимерных молекул, постепенно становится ведущей в дальнейшем развитии науки и технологии, отвергая теорию «Случайных открытий», приводя к революции в науке, и выдвигая на первый план необходимость конвергенции естественно-научных, гуманитарных знаний и техники.

Синергетические связи нанотехнологии

Синергетика, как и нанонаука, предполагает междисциплинарный подход к решению сложных проблем. Если посмотреть на нанотехнологию в контексте идеи процесса, становления, качественных изменений, осмысленных через призму идей синергетики, нелинейности, самоорганизации, неизбежно возникает идея наноконвергенции, рекурсивно встраиваемая, в свою очередь, в контекст представлений о так называемых конвергирующих (конвергентных) технологий. За последние десять лет

исследования в области философии науки и технологии в их междисциплинарном и трансдисциплинарном контекстах обзавелись новым концептом: «Конвергирующие технологии». Несколько раньше, в середине 90-х, на само явление «растущей конвергенции конкретных технологий в высокоинтегрированной системе, в которой старые изолированные технологические траектории становятся буквально неразличимыми», обратил внимание выдающийся американский социолог Мануэль Кастельс [14].

Приведем некоторые примеры наиболее очевидных синергетически связанных достижений нанонауки.

1. Довольно хорошее представление о характерных свойствах атомов, молекул и объемных материалов, полученных из них, вытекает из существующих на сегодняшний день соответствующих наук и технологий. Сегодня в свете опыта, накопленного в изучении необычайно экзотического поведения наноструктур, важно детально изучить их возможные взаимодействия с макро-и биомолекулами в зависимости от их внутренней структуры и функциональных блоков, возможно присоединяемых к ним при различных условиях.

2. Наноструктуры в действительности гипер-активны. Наноструктурированные материалы ведут себя совершенно иначе, чем соответствующие объемные структуры, потому что здесь почти каждый составляющий атом, находящийся на поверхности, имеет свободные связи, что делает их все химически очень активными, всегда готовыми взаимодействовать с другими химическими веществами. Кроме того, явления квантования электронов в наноразмерных структурах дают дискретные уровни энергии, которые отвечают за то, чтобы происходили различные внутриуровневые переходы при взаимодействии с оптическим излучением. Типичное оптическое взаимодействие конкретной наноструктуры определяется с помощью спектра экситонов (состояний, связанных с электронными дырами), что зависит от характеристик наноразмерности.

3. Наноструктуры разного размера могут быть возбуждены одной длиной волны излучения, что дает в результате излучения различной длины волны, типичные для каждой наноструктуры. Такие наноструктуры, полученные в четко определенных формах, известны как квантовые точки, в настоящее время доступные для медицинской визуализации и диагностики вместо флуоресцентных красителей, использовавшихся ранее [15].

4. Наноструктуры легко объединить с помощью ферментов, белков, липидов и целого ряда биологических объектов, если их подвергнуть воздействию соответствующих лигандов, прикрепленных к ним во время функционализации. Наличие этих видов внутри и вокруг сложных биомолекул требует детального исследования - теоретические и экспериментально. Квантовые точки внутри ДНК или генной конструкции клетки открывают важный путь осуществления воспроизводимых модификаций генов растений и клеток человека. В клетках растений можно было бы модифицировать гены, чтобы сделать растения более устойчивыми к экологическим стрессам и повысить урожайность.

5. Трансгенные растения - это сегодняшняя реальность. Подобные возможности в настоящее время изучаются и в отношении людей. Поняв, например, внутри- и межклеточные связи, существующие в живых организмах, перенос информации и манипулирование свойствами наноструктур, таких как атомные/молекулярные кластеры, квантовые точки, макро-и биомолекулы исследователи изучают их для использования их в будущих биокомпьютерах [24].

6. Интернет, обработка данных и принятие решений могут быть рассмотрены также в контексте использования биокомпьютерной техники. В настоящее время, совершенно ясно, что полупроводниковые вычислительные системы вряд ли будут адекватно имитировать естественные процессы, связанные с человеком и работой его разума. Расчеты ДНК [24] являются лишь одним усилием в этом направлении. Вычислительные системы на основе живой клетки в будущем могут оказаться в этом контексте ближе к человеческой системе.

7. Загрязнение окружающей среды и ее восстановление также является комплексной проблемой, решение которой невозможно без привлечения целого комплекса наук, в том числе нанонауки. Поиск подходящего микроба, который может преобразовывать отходы промышленности, сельского хозяйства и жизнедеятельности человека в полезные сырье для биотехнологической промышленности, может осуществлять одна из областей, ожидающих помощи от нанотехнологий и биотехнологий - нанобиотехнология [18].

Научное, техническое и технологическое образование - Неизбежные изменения

В прошлом общепринятой практикой была разработка фундаментальных и прикладных научных программ для бакалавриата, магистратуры и аспирантов в университетах. Прикладные научные дисциплины, прежде всего, разрабатывались для поддержки инженерных и технологических программ, специально предназначенных для промышленного применения. Теоретические кафедры обеспечивали необходимую поддержку для прикладных дисциплин на начальном этапе их роста, но позже прикладные дисциплины начали расти самостоятельно, развивая собственные исследования и академическую деятельность. Хотя прикладным дисциплинам было проще заимствовать концепции базовых дисциплин, (а иногда и наоборот), не было систематических усилий по развитию фундаментальных и прикладных концепций, необходимых для совместного решения конкретной проблемы. Однако в изменившейся ситуации, чтобы искать «Комплексные Решения» конкретных задач, обозначенных в последнее время, постепенно становится все более необходимым иметь сочетание дисциплин из обоих потоков и участие специалистов в соответствующих областях.

Например, концепция «интеллектуального анализа данных и хранилищ данных», которая была первоначально разработана для анализа рынка и

прогноза структуры потребления, в настоящее время интенсивно распространяется на области современных форм лекарственных средств, управление здравоохранением и больничными услугами и другие подобные области. Оптимальные решения на основе правильного использования базы знаний, которые можно получить в соответствующих областях, с самого начала становятся направлением современного развития. Это обязательно приводит к необходимости выработки «междисциплинарного подхода» к поиску решений в целом по всей «Проблемной Базе» [6]. Будущая команда ученых и инженеров, работающих над данной проблемой, предпочтительнее будет состоять из специалистов различных смежных дисциплин, которые будут рассматривать конкретную проблему в качестве мишени.

В связи с этим необходимо иметь в виду «Сдвиг Парадигм» при разработке структур курсов и учебных программ для развития человеческих ресурсов в будущем. Это относительно более сложная форма развития технологий, и в этом контексте успех является результатом синергетического взаимодействия компонентов знания из различных областей.

Подобное синергетическое взаимодействие уже было создано в нанотехнологии, когда стабильные сборки из нескольких десятков и тысяч атомов/молекул вели себя совершенно иначе, чем составляющие их атомы/молекулы или соответствующие формы объемных материалов. Физические, химические и биологические свойства таких объектов весьма чувствительны к их размеру.

Для того, чтобы понять сложные ситуации, возникающие в интерактивных системах, должны быть развиты комплексные программы исследования, созданы в большом количестве научные коллективы с участием ученых из разных стран. Но общий успех такого исследования будет в значительной степени зависеть от наличия обученных выпускников соответствующих специальностей [1].

Таким образом, учебные программы для студентов и аспирантов нуждаются в кардинальной модификации с позиций междисциплинарного подхода. Не менее важным становится повышение общей осведомленности общественности - особенно в тех областях, которые оказывают глобальное воздействие.

Исследователи в сфере гуманитарных, социальных наук, и в других смежных областях должны принимать участие в оценке общего воздействия науки, техники и технологического развития, в будущих событиях, так как жизнь человека является воплощением всех этих факторов, взятых вместе. Задачи будущего образования становятся все более и более интерактивными по своей природе.

Современные студенты не могут оставаться пассивными слушателями, осваивающими знания и навыки, которые могли бы пригодиться им позже в работе. Роль высшего образования завтрашнего дня состоит в содействии студентам, стремящимся стать творческими и инновационными личностями, в их поиске лучших решений жизненно важных проблем и воплощения этих проблем в жизнь. Получение образования для удовлетворения интеллектуальной

потребности в знаниях отходит на второй план в системе приоритетов современного студента, поскольку перед ним стоят более насущные человеческие проблемы.

Образование и научные исследования – комплексный подход

Начнем с того, что в будущем будут развиваться программы развития науки, техники и технологии в целом, а не отдельные предметы, такие как физика, химия, математика, естественные науки и технологии. Магистранты и аспиранты должны освоить основные принципы науки, использующей наноструктуры в качестве строительных блоков для получения материалов, компонентов и устройств с характеристиками, заданными на уровне проектирования. В магистратуре студенты должны быть разделены на потоки, которые обязательно должны основываться на технологиях будущей профессиональной деятельности. В аспирантуре проблема конкретного исследования должна быть критерием для формирования конкретных групп и создания лабораторной базы. При таком подходе важно не только наличие внутри-вузовской интеграции, но и межвузовского взаимодействия в зависимости от широты задач, находящихся на стадии рассмотрения.

Для решения некоторых проблем крайне необходимо международное сотрудничество, так как количество усилий, необходимых для достижения решения, огромно и общие затраты трудовых ресурсов под силу, только если работа ведется совместно в нескольких научно-образовательных центрах. В этих условиях становится неизбежным использование масштабных усилий, а также огромных ресурсов. Одна команда вне зависимости от ее размера, возможно, не смогла бы сделать все, что требуется для выхода на полноценное решение проблемы.

В исследовании А. Нафалски, и К.Макдермотта [17], проведенном в Университете штата Южная Австралия, были выявлены характеристики выпускников инженерных факультетов. Среди наиболее значимых характеристик, определенных австралийской командой, приведены следующие: - выпускники инженерных специальностей должны использовать знания достаточной глубины, чтобы эффективно работать после вступления в профессиональную деятельность;

- для того, чтобы сохранить высокое профессиональное мастерство и стремление к личному развитию, в качестве жизненной цели они должны иметь программы непрерывного обучения. Далее, с помощью логического и творческого мышления такие выпускники должны стремиться стать активными в решении проблем, работая индивидуально и в команде;

- при осуществлении профессиональных обязанностей они должны придерживаться этических норм и сохранять социальную ответственность;

- профессиональные навыки эффективной коммуникации не должны использоваться лишь

только в профессии, но должны работать в гражданской и международной сферах;

- для того, чтобы достичь профессионального успеха, выпускникам желательно научиться интегрировать практическое применение идей и соответствующих решений для эффективного решения проблемы, сохраняя хорошее видение и осознание значений и ценностей, включая индуктивное мышление, наряду с умением моделировать ситуации и быть эффективными в выполнении текущих планов и участии в новых проектах. Каждое из этих требований, как считают австралийские исследователи, может быть включено в учебные программы инженерного образования для обучения молодых специалистов.

При быстром темпе роста науки, техники и технологии наша система образования и исследований нуждаются в модернизации с учетом происходящих концептуальных изменений. Это могло бы быть осуществлено наилучшим образом при взаимодействии на национальном и международном уровнях. Введение принципов нанонауки и их использование в поисках всеобъемлющих решений с использованием технических и технологических методик, является одним из лучших способов для достижения успеха.

Литература

1. K. Adams, *Engineering & Materials Sciences*, **11**, 3, 178-199 (2005).
2. S. Ahmad, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, **12**, 4, 299-316 (2005).
3. M.L. Bennink, *Euronanoforum 2009* (Twente, 2009). Proceedings. University of Twente, 2009, P. 62-70.
4. V. Bouda, *Material Research Society Symposium*. Proceedings. Vol. 7, No.3, P. 16-24.
5. M. Castells, *The Rise of the Network Society, The Information Age: Economy, Society and Culture, I*. Cambridge, MA; Oxford, UK: Blackwell, 1996 (second edition, 2000).
6. S. Dunn, K.A. Singh, *Analysis of M-Level modules in Interdisciplinary Nanotechnology. Nanotechnology Education in Europe*, Institute of Nanotechnology, Glasgow, 2009.
7. Steve Farrar, *The Sunday Times*, November 12, 2006.
8. Gamal S. Ahmed, *World Congress on Engineering and Technology, CET 2011*, (Shanghai, China, 2011). Paper ID: 23086.
9. Gamal S. Ahmed, *International Journal of Communication and Information Technology Education, IJCTE (Accepted paper)*, **8**, 31, Sep. (2012).
10. Gamal S. Ahmed, *Journal of Computer Technology & Applications*, **2**, 1, P. 41-59 (2011).
11. M. Gradimir et al., *European PhD School on Nanoanalysis, Euroforum 2011* (Zug, Switzerland, 2011). Proceedings. Universite du Luxembourg, P. 16-24.
12. B. Halford, C & EN Washington, *Chemical & Engineering News*, **83**, 35, P. 30-33, (2005).
13. R. Hoffman, Serendipity - The Grace of Discovery, [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.roaldhoffmann.com/>.
14. N. Invernizzi, G. Foladori, D. Maclurcan, *Science Technology and Society*, **13**, 1, P. 123-148 (2008).
15. T. Jin, F. Fujii, Y. Komai, J. Seki, A. Seiyama, Y. Yoshioaka, *International Journal of Molecular Science*, **9**, P. 2044-2061 (2008).
16. T.S. Kuhn, *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change* (1977).

17. A. Nafalski, K. McDermott, Ö. Gö. *The 31st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference* (2001). Paper.
18. C. P. Poole Jr., F.J. Owens, *Introduction to Nanotechnology*, Jon Wiley and Sons Inc., 2003.
19. S. Rajagopalan, *J. Materials Study*, November, **9**, 11, P. 17-22 (2006).
20. P. Rudquist, *Euronanoforum 2009* (Prague, 2009). Proceedings. Chalmers University of Technology, P. 95-102.
21. S. Svenson, D.A. Tomalia, *Advance Drug Delivery Review*, **57**, 15, P. 2106-2129 (2005).
22. F. Slowiczek, P.M. Peters, *Discovery, Chance and the Scientific Method* [электронный ресурс]. – Режим доступа: www.accessexcellence.org/AE/AEC/CC/chance.php
23. J.P. Wilcoxon, B.L. Abrams, *Chemical Society Review*, **35**, P.1162-1194 (2006).
24. N. Zhang et al., *Joint estimation of DNA copy number from multiple platforms*, Technical Report, Department of Statistics, Stanford University, 2005.
25. И.М. Булатова, *Вестник Казанского технологического ун-та*, 3, С. 407-415 (2010).
26. Н.Х. Мифтахова, *Вестник Казанского технологического ун-та*, 3, С. 436-443 (2010).
27. Э.Н. Нуриева, Л.В. Бакеева, *Вестник Казанского технологического ун-та*, **15**, 23, С.222-226 (2012).

© Э. М. Муртазина - канд. пед. наук, доц. каф. иностранных языков в профессиональной коммуникации КНИТУ, murel@inbox.ru; Г. Г. Амирова - канд. пед. наук, доц. той же кафедры, amirova_guzel@mail.ru.